

Avant-propos

La présente étude porte sur l'évaluation de l'efficacité de quelques plantes présumées pesticides et utilisées localement comme bio-insecticides pour la protection des grains de maïs en post-récolte contre le charançon du maïs (*Sitophilus zeamais* Motschulsky.) en zone urbano-rurale. Le choix de ce thème nous a paru intéressant pour des raisons fondamentales suivantes :

1. participer à la réduction de l'utilisation des insecticides chimiques aux cultures et en post-récolte afin d'éviter la modification de la faune et de la flore, du sol et du sous-sol, la contamination de l'air et de l'eau, le phénomène de résistance et d'accoutumance chez les nuisibles (insectes ravageurs, maladies, mauvaises herbes), les effets insecticides qui s'accumulent et s'amplifient aux différents maillons de la chaîne alimentaire ;
2. faire une recherche poussée sur les relations plantes-insectes, appuyée par une technologie simple favorisant une pratique adaptée et rationnelle des molécules allélochimiques d'origine végétale en protection biologique par leur utilisation pour le contrôle des ravageurs et des parasites ;
3. contribuer à la lutte contre l'insécurité alimentaire, la réduction de la pauvreté et le renforcement des capacités locales à action synergique des composés d'origine végétale : bioinsecticides et la tolérance du maïs contre *Sitophilus zeamais* Motschulsky ravageur primaire du maïs en conservation.

Depuis une trentaine d'années, physiologistes, biochimistes, chimistes, toxicologues, écotoxicologues, phytopathologistes et zoologistes agricoles unissent leurs efforts dans la recherche de nouvelles molécules d'origine végétale susceptibles de permettre à l'humanité de lutter efficacement et durablement contre les nuisibles, tout en préservant les différents agroécosystèmes et l'homme. En identifiant, dans les plantes insecticides, les molécules allélochimiques biodégradables, on sera en mesure de mener une protection biologique sans pollution de la nature et nuisibilité de l'environnement. Parallèlement, une démarche purement chimique cherchait à modifier les molécules d'origine végétale pour créer des composés plus faciles

d'emploi en protection des cultures et des denrées alimentaires. Il est aussi permis d'envisager une action plus sélective et spécifique qui fournira aux autres aspects de la protection intégrée, en particulier, les moyens de lutte agronomique, culturale, administrative, physique, génétique, biologique et les composés allélochimiques (action synergique des composés d'origine végétale).

Les travaux étaient centrés sur l'enquête ethnobotanique des espèces végétales thérapeutiques et aromatiques à effets insecticides, et l'évaluation de l'activité insecticide de ces plantes à différentes doses. Et enfin, l'évaluation de l'action synergique des composés d'origine végétale : effet combiné additif du potentiel génétique du maïs et de l'activité insecticide des molécules allélochimiques végétales. Le screening chimique de la phase aqueuse et organique à la recherche et à la mise en évidence des métabolites secondaires à effets insecticides, et enfin, sur leur toxicité avec les activités résiduelles toxiques. La présente étude a pour but d'évaluer l'effet insecticide des formulations en poudre d'espèces végétales sur les coléoptères *Curculionidae* qui causent le plus de dégâts aux stocks du maïs, notamment *Sitophilus zeamais* Motschulsky. L'étude se propose également de tester la persistance de l'action des poudres insecticides de *Vernania amygdalina* Del., de *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf et *Tetradenia riparia* L. sur la vie de *Sitophilus zeamais* ravageur des stocks du maïs égrené. Nous pensons que les résultats obtenus au cours de cette recherche pourraient servir de base des données pour une agriculture biologique, productive, durable, douce et saine dans les pays en développement et pour la valorisation du savoir et du savoir-faire traditionnel.

Remerciements

Nos études se sont orientées sur la recherche de l'importance économique de *Sitophilus zeamais* Motschulsky., les diverses catégories de pertes, la mise en évidence des métabolites secondaires à action insecticide ainsi que la description botanique et ethnobotanique des essences au jardin botanique de Kisantu, à l'herbarium de l'INERA, à la Division des Sciences de la vie du Département de Phytogénétique du CREN-K, au laboratoire de Botanique Systématique et d'Ecologie Végétale du Département de Biologie à la Faculté des Sciences de l'Université de Kinshasa. L'occasion nous est ainsi offerte de remercier très sincèrement toutes ces institutions.

Il nous importe de témoigner notre gratitude :

- A Dieu, notre tendre Père, pour son bienveillant accompagnement durant notre parcours post-universitaire ;
- A la Conférence Annuelle du Congo Central de la 28^e Communauté Méthodiste Unie pour nous avoir incité à entreprendre les études de 3^{ème} Cycle grâce au financement de ma formation pour l'obtention du Diplôme d'Etudes Approfondies en Agronomie par Son Excellence Monseigneur, Evêque Professeur Docteur Joseph ONEMA FAMA en retraite. De même, nous sommes reconnaissant à Son Excellence Monseigneur Professeur Docteur Daniel LUNGE ONASHUYAKA, Evêque Résident et Représentant Légal de la 28^e Communauté Méthodiste Unie au Congo Central pour son soutien spirituel et moral ;
- A notre promoteur, Dr Ir Dominique LOMA TONGOMO FUNGA, Professeur Emérite. Il m'a inculqué la passion de la recherche en entomologie à travers ses enseignements et ses travaux de recherche sur les ravageurs des céréales (maïs, riz, mil). Il a aussi initié une collaboration avec les laboratoires d'entomologie appliquée, de toxicologie et d'écotoxicologie de l'INRB en vue de notre encadrement pratique. Lors de nos travaux de recherche, ce maître a toujours fait montre d'une attention particulière à notre égard. Donc nous lui devons cette dissertation doctorale ;

- Au co-promoteur de celle-ci, Dr Gilbert PULULU MFWIDI NITU, Professeur ordinaire au Département de Biologie et Techniques Appliquées à l'ISP/Gombe. Sa profonde gentillesse, son soutien moral et son intérêt pour notre travail nous ont beaucoup encouragé au point que son suivi à m'aventurer dans cet univers de haute valeur. Son suivi régulier des activités, ses remarques et suggestions positives ont eu un impact significatif sur la réussite de cette recherche ;
- Au co-promoteur, le Ph.D. Ir Patrick TSHILENGE DJIM KANANA, de la Faculté des Sciences Agronomiques à l'Université de Kinshasa, pour son précieux. Ses documents mis à ma disposition pour la réalisation de cette thèse m'ont permis d'être au même diapason que les chercheurs des universités modernes ;
- Au Ph.D. Ir Antoine MUMBA DJAMBA, Professeur Ordinaire et Doyen de la Faculté des Sciences Agronomiques. Ses conseils et encouragements incessants traduisant son intérêt pour notre promotion scientifique ont été un immense secours moral pour nous. Nous garderons toujours de meilleurs souvenirs de son implication dans l'amélioration de notre et l'honneur qu'il nous fait en acceptant de présider le jury de soutenance de notre thèse ;
- Au Dr Ir Nathan NYONGOMBE UTSHUDIENYEME, Professeur Ordinaire à la Faculté des Sciences Agronomiques de l'Université Pédagogique Nationale pour ses encouragements fraternels, son soutien moral, ses sages conseils ainsi que pour ses corrections scientifiques enrichissantes de ce travail
- Aux Drs Jean LOHAKA DJONGA et Paul MONZAMBE MAPUNZU, Professeurs à la Faculté des Sciences et des Sciences Agronomiques de l'Université Pédagogique Nationale qui ont accepté de faire partie du comité d'évaluation de cette thèse ;
- Au Dr Patience NGELINKOTO MPIA BOKANGO, Professeur et Secrétaire Académique à la Faculté des Sciences de l'Université Pédagogique Nationale pour sa contribution scientifique fructueuse à l'obtention des extraits des plantes et qui était d'un enrichissement théorique et pratique remarquable. Grâce à elle, nous avons beaucoup appris sur l'identification des métabolites secondaires ;

- A Monsieur le Professeur Sylvain SHOMBA KINYAMBA, mon très généreux donateur pour avoir pris en charge tous les frais de saisie, de reproduction et de reliure de ma dissertation dans son centre de recherche, et aux frères, amis et enfants, trouvez ici l'expression de ma profonde reconnaissance pour leur soutien moral et financier ;
- A Messieurs Francis WATSENGA TEZZO, Chef de service au laboratoire d'Entomologie Fondamentale et Appliquée pour sa participation à l'élevage de l'insecte *Sitophilus zeamais* Motschulsky., et John MULUMBA WA TSHITA, Chef de service au laboratoire de Toxicologie et Ecotoxicologie pour sa collaboration aux procédures d'évaluation de la toxine et de la phytotoxicité ; tous à l'INRB de Kinshasa. Nous saluons ainsi leur sens de disponibilité, serviabilité et professionnalisme ;
- Aux Chefs de Travaux Jean Jacques BOWANGA wa LITUTE du laboratoire de Biologie et Techniques Appliquées de l'Institut Supérieur Pédagogique de la Gombe pour le test de la persistance et du résidu des insecticides, et Damien TSHAMBANGU SHA TSHIMBEY du laboratoire des Substances Naturelles et de Chimie Médicale au Département de Chimie, Faculté des Sciences de l'Université de Kinshasa, pour son assistance judicieuse à la mise en évidence des métabolites secondaires. Nous gardons un souvenir ineffaçable de leur sens aigu de travail et de leur générosité légendaire ;
- Aux initiateurs et les amis de l'Université Patrice Emery LUMUMBA (UPEL) de Wembo-Nyama, notre établissement d'attache, pour nous avoir toujours encouragé jusqu'à l'heureux aboutissement de cette étude. Qu'ils y trouvent un réel motif de fierté. Aux autorités académiques de l'établissement d'accueil, l'Université Pédagogique Nationale, pour leur fructueux accompagnement.

Enfin, nous remercions du fond de notre cœur notre chère épouse Mathilde ANADALA AHUKA et tous les enfants, , pour avoir fait preuve d'affection, de patience et de courage ainsi que d'esprit de privation et de solidarité remarquable à notre égard ;

Que la terre de nos ancêtres soit douce pour nos parents Victor DJOLO OMEONGA et Marie ONGEMBA a PUNGUMBU, notre sœur cadette Monique DJOLO YOKA, notre fille Karina DJOLO ONENGA, notre oncle Philippe ESSAHO EKEDI Pene PUNGUMBU, notre tante Catherine TSHA KUMBE et notre jeune frère Franck DJOLO LOKETEMBO qui, malheureusement, ont été arrachés à notre affection par le destin cruel qui les prive de ce jour de l'excellence pour nous. Que leurs âmes reposent en paix.

TABLE DES MATIERES

AVANT-PROPOS	I
REMERCIEMENTS	III
TABLE DES MATIERES	VII
RESUME.....	XII
ABSTRACT	XV
LISTE DES ABREVIATIONS ET DES ACRONYMES.....	XVIII
LISTE DES FIGURES	XX
LISTE DES TABLEAUX.....	XXI
0. INTRODUCTION GENERALE	1
0.1 PROBLEMATIQUE	4
0.2 HYPOTHESES	7
0.3 OBJECTIF GLOBAL	8
0.4 OBJECTIFS SPECIFIQUES	8
0.5 INTERET D’ETUDES ET TRAVAUX ANTERIEURS	9
0.6 SUBDIVISION DU TRAVAIL	10
CHAPITRE PREMIER.....	12
REVUE DE LA LITTERATURE.....	12
1.1 GENERALITES SUR LE MAÏS (ZEA MAYS L.)	13
1.1.1 TAXONOMIE, DESCRIPTION ET ECOLOGIE	13
1.1.2 TYPES VARIETAUX.....	14
1.1.3 DESCRIPTION DU GRAIN	15
1.1.4 VALEUR ALIMENTAIRE ET IMPORTANCE ECONOMIQUE	15
1.1.5 VARIETES RESISTANTES	16
1.2 GENERALITES SUR LES PESTICIDES CHIMIQUES.....	17
1.2.1 BUT ET DEBUT DES METHODES DE LUTTE CONTRE LES ORGANISMES NUISIBLES EN AGRICULTURE.....	17
1.2.2 PERIODE APRES LA DECOUVERTE DU DICHLORO DIPHENYL TRICHLOROETHANE (DDT)	18
1.3 GENERALITES SUR SITOPHILUS ZEAMAI MOTSCHULSKY.	19
1.3.1 TAXONOMIE ET DISTRIBUTION	20
1.3.2 DEVELOPPEMENT.....	21
1.3.3 IMPORTANCE ECONOMIQUE ET AGICOLE DE SITOPHILUSZEAMAI MOTSCH.....	22
1.3.4 RESISTANCE DES INSECTES RAVAGEURS AUX PESTICIDESCHIMIQUES	23
1.4 DIFFERENTES STRUCTURES DE STOCKAGE EN PAYSANNAT	24
1.4.1 SYSTEMES DE STOCKAGE OUVERT	25
1.4.2 SYSTEMES DE STOCKAGE FERME.....	25

1.4.3 Systèmes de stockage semi-ouvert	25
1.5 DIFFERENTS FACTEURS D'ALTERATION DES GRAINS	26
1.5.1 Facteurs biochimiques	26
1.5.2 AGENTS BIOLOGIQUES DE DEGRADATION	26
1.5.2.1 INSECTES DEPREDATEURS DES STOCKS	26
1.5.2.2 MICROORGANISMES PATHOGENES	27
1.5.2.3 RONGEURS.....	27
1.6 METHODES TRADITIONNELLES DE PROTECTION DES CEREALES	28
1.6.1 Utilisation des substances minérales	28
1.6.2 Utilisation des substances d'origine végétale	29
1.6.3 Exposition au soleil	29
1.6.4 Enfumage	29
1.6.5 Conservation en atmosphère confinée	30
1.6.6 Lutte chimique	30
1.7 PROTECTION BIOLOGIQUE	30
1.7.1 GENERATION DES PESTICIDES	30
1.7.1.1 NICOTINE.....	31
1.7.1.2 ROTENOÏDE ET ROTENONE	31
1.7.1.3 PYRETHRES.....	32
1.7.1.4 HUILES VEGETALES	32
1.7.1.5 BIO-PESTICIDES D'ORIGINE VEGETALE	33
1.7.1.6 UTILISATION DES EXTRAITS VEGETAUX POUR LA PROTECTION DES STOCKS	34
CHAPITRE DEUXIEME	39
ENQUETE ETHNOBOTANIQUE DES PLANTES A POTENTIELS	
PESTICIDES EN GESTION DES INSECTES RAVAGEURS DE STOCK DU	
MAÏS	39
2.1 RESUME	40
2.2 INTRODUCTION	41
2.4 MATERIEL ET METHODES	43
2.4.1 MATERIEL	44
2.4.2 METHODES	44
2.4.2.1 DEROULEMENT DE L'ENQUETE ETHNOBOTANIQUE	45
2.4.2.2 ORGANISATION DES RENCONTRES	45
2.4.2.3 MODALITES D'ENQUETE ET TECHNIQUES DE COLLECTE DES DONNEES.....	45
2.5 RESULTATS	47
2.5.2 PLANTES A EFFETS INSECTICIDES	50
2.5.3 REPARTITION DES ENQUETES ET LEUR SITE	51
2.5.4 PERIODE D'INFESTATION	51
2.5.5 EVALUATION DES DEGATS OCCASIONNES	52
2.5.7 ORGANES UTILISES POUR LA PROTECTION DU MAÏS	53

2.5.8 OPINION DES ENQUETES SUR L'IMPORTANCE ECONOMIQUE	54
2.5.9 DIFFICULTES RENCONTREES EN CONSERVATION DU MAÏS	55
2.6 DISCUSSION PARTIELLE	56
2.7 CONCLUSION PARTIELLE.....	58
CHAPITRE TROISIEME.....	60
ACTION INSECTICIDE DES PLANTES ET LA TOLERANCE DES MAÏS VIS-A-VIS DU CHARANÇON DU MAÏS (<i>SITOPHILUSZEAMAI</i> <i>MOTSCHULSKY</i>).	60
3.1 ACTION INSECTICIDE DES POUDRES POUR LA GESTION DU CHARANÇON DU MAÏS (<i>SITOPHILUSZEAMAI</i> <i>MOTSCHULSKY</i>).	61
3.1.1 RESUME	62
3.1.2 INTRODUCTION	63
3.1.3 MATERIEL ET METHODES	64
3.1.3.1 MATERIEL BIOLOGIQUE	64
B) PLANTES A EFFETS INSECTICIDES	64
A) <i>ANNONA SENEGALENSIS</i> PERS.	64
B) <i>CAPSICUM FRUTESCENS</i> L.	65
C) <i>CYMOGOPON CITRATUS</i> (DC.) STAPF	65
D) <i>LANTANA CAMARA</i> L.	65
E) <i>OCIMUM GRATISSIMUM</i> L.....	66
F) <i>TETRADENIA RIPARIA</i> L.	66
G) <i>TITHONIA DIVERSIFOLIA</i> (HEMSL.) A. GRAY.....	66
H) <i>VERNONIA AMYGDALINA</i> DEL.....	67
3.1.3.2 METHODES	68
A) RECOLTE DES FEUILLES D'ESPECES VEGETALES	68
F) PARAMETRES ENTOMOLOGIQUES ET AGRONOMIQUES ENREGISTRES	69
H) CALCUL DU POURCENTAGE D'ATTAQUES DES GRAINS DE MAÏS	70
3.1.4 RESULTATS	70
3.1.4.1 ACTION INSECTICIDE DE LA POUDRE DE <i>TETRADENIA RIPARIA</i> L.....	70
3.1.4.2 ACTION INSECTICIDE DE LA POUDRE DE <i>VERNONIA AMYGDALINA</i> DEL	72
3.1.4.3 ACTION INSECTICIDE DE LA POUDRE DE <i>CYMOGOPON CITRATUS</i> (DC) STAPF	73
3.1.4.4 ACTION INSECTICIDE DE LA POUDRE DE <i>LANTANA CAMARA</i> L.....	74
3.1.4.5 ACTION INSECTICIDE DE LA POUDRE D' <i>ANNONA SENEGALENSIS</i> PERS	76
3.1.4.6 ACTION INSECTICIDE DE LA POUDRE D' <i>OCIMUM GRATISSIMUM</i> L.	77
3.1.4.7 ACTION INSECTICIDE DE LA POUDRE DE <i>TITHONIA DIVERSIFOLIA</i> L.	78
3.1.4.8 ACTION INSECTICIDE DE LA POUDRE DE <i>CAPSICUM FRUTESCENS</i> L.	79
3.1.5 DISCUSSION PARTIELLE	81

3.2 EFFET INSECTICIDE DES PLANTES ET TOLERANCE DES MAÏS EN ACTION DES COMPOSES D'ORIGINE VEGETALE EN SYNERGIE VIS-A-VIS DU CHARANÇON DU MAÏS (<i>SITOPHILUS ZEAMAI</i> MOTSCHULSKY.).	88
3.2.1 RESUME	89
3.2.2 INTRODUCTION	90
3.2.3 MATERIEL ET METHODES	91
3.2.3.1. MATERIEL BIOLOGIQUE ET INSECTICIDE CHIMIQUE	91
A) MATERIEL BIOLOGIQUE	92
A) INSECTICIDES D'ORIGINE VEGETALE	92
B) CULTIVARS ET LIGNEE DE MAÏS	92
C) INSECTE RAVAGEUR	92
B) INSECTICIDE CHIMIQUE	92
3.2.3.2 METHODES D'EVALUATION DES ACTIVITES INSECTICIDES	93
A) INFESTATION DES MAÏS PAR <i>SITOPHILUS ZEAMAI</i> MOTSCHULSKY.	93
B) PESEE ET MISE EN POTS	93
E) CALCUL DU POURCENTAGE DES PERTES DE POIDS DE MAÏS	95
F) VARIABLES OBSERVEES ET MESUREES	95
2) ESTIMATION DE L'IMPORTANCE ECONOMIQUE ET AGRICOLE	96
3.2.4 RESULTATS	97
3.2.4.1 EFFETS INSECTICIDES DES PLANTES ET TOLERANCE DE MAÏS CONTRE <i>S. ZEAMAI</i>	97
3.2.4.2 EFFETS INSECTICIDES DES PLANTES ET TOLERANCE DES MAÏS SUR LES TYPES DE PERTES	99
L'EVALUATION DE L'IMPORTANCE ECONOMIQUE ET AGRICOLE CAUSEE PAR L'INSECTE RAVAGEUR, <i>SITOPHILUS ZEAMAI</i> MOTSCH. EN CONSERVATION DES GRAINS DE MAÏS PENDANT LA CONSERVATION	99
3.2.5 DISCUSSION PARTIELLE	108
3.2.6 CONCLUSION PARTIELLE	111
	113
4.1 RESUME	115
4.2 INTRODUCTION	116
4.3 MATERIEL ET METHODES	118
4.3.1 MATERIEL	118
4.3.1.1 MATERIEL D'EVALUATION DE LA TOXICITE ET ACTIVITES RESIDUELLES...	118
4.3.1.2 MATERIEL D'ISOLEMENT ET CARACTERISATION DES METABOLITES SECONDAIRES	119
4.3.2 METHODES	119
4.3.2.1 METHODES MISE EN EVIDENCE DES METABOLITES SECONDAIRES	119
4.3.2.2 PREPARATION DU MATERIEL VEGETAL	120
4.3.2.3 PREPARATION DE L'EXTRAIT AQUEUX (SCREENING CHIMIQUE)	121
4.3.2.4 PREPARATION DE L'EXTRAIT ALCOOLIQUE (SCREENING CHIMIQUE)	123

4.3.2.5 PLANTES A EFFETS INSECTICIDES	124
4.4. RESULTATS DU SCREENING CHIMIQUE	125
4.4.1. MISE EN EVIDENCE DES METABOLITES SECONDAIRES SYNTHETISANT DES MOLECULES ALLELOCHIMIQUES VEGETALES A EFFETS INSECTICIDES	- 127 -
4.4.2. EXTRACTION ET CARACTERISATION DES SUBSTANCES SECONDAIRES DES PLANTES INSECTICIDES	128
4.4.3 ANALYSE DE TOXICOLOGIE ET BIODEGRADABILITE DES EFFETS TOXIQUES RESIDUELS	130
4.4.3.1. TEST DE TOXICITE	131
4.4.3.2 ANALYSE TOXICOLOGIQUE DES PLANTES A EFFETS INSECTICIDES.....	131
4.4.4 ANALYSE DE LA PERSISTANCE DES EFFETS INSECTICIDES	133
4.4.4.1. REMANENCE SUBSTANTIELLE D’ACTION INSECTICIDE DES POUDRES VEGETALES	133
4.5 DISCUSSION PARTIELLE	136
4.6 CONCLUSION PARTIELLE.....	138
CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES	140
REREFENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	144
ANNEXE : 1	166
ANNEXE 2.A FIGURES DES ENQUETES ETHNOBOTANQUES DES PLANTES A ACTION INSECTICIDE.....	170
ANNEXE 2.B TABLEAUX COMPLEMENTAIRES DE CALCUL DU CHI-CARRE SUR LES ENQUETES.....	173
ANNEXE 3.A ANALYSE DE LA VARIANCE DU BLOC ALEATOIRE COMPLET	180
ANNEXE 3.2 ANALYSE DE LA VARIANCE D’UNE EXPERIENCE EN SPLIT PLOT	188

Résumé

Le charançon du maïs, embranchement des Arthropodes, classe des Insectes, ordre des Coléoptères de la famille *Curculionidae*, est l'un des ravageurs le plus redoutable de l'entreposage du maïs en République Démocratique du Congo (RDC). A ce titre, il constitue un écueil majeur à la conservation des grains de maïs en Afrique sub-saharienne où le maïs est une denrée de sécurité alimentaire et de base pour le développement socio-économique de cette partie du monde.

En RDC, des hypothèses ont été formulées sur le niveau d'attaques du charançon du maïs dans les zones de production et de conservation du maïs. Parmi celles-ci figurent le manque d'application des pratiques de phytosanitation adéquate protégeant l'homme, les agroécosystèmes et l'utilisation des variétés de maïs tolérantes ou résistantes vis-à-vis des ravageurs (*Sitophilus zeamais* Motschulsky.). Une autre hypothèse a été avancée sur l'existence des phytomolécules pour la gestion des bioagresseurs du maïs en conservation. Ces deux moyens de protection biologique des produits post-récoltes pourraient être utilisés dans la stratégie alternative à la protection chimique des denrées alimentaires.

L'objectif de cette thèse consiste à poser la problématique de la protection en post-récolte et à mettre en évidence par screening chimique les espèces végétales aromatiques et médicinales à potentiels insecticides, ainsi que les substances secondaires impliquées dans la protection des stocks. Cette thèse rapporte les résultats de différentes études menées au regard des hypothèses avancées. Les diverses catégories de pertes occasionnées par les attaques des charançons ont été étudiées grâce aux enquêtes menées sur les 336 exploitants agricoles dans certains marchés de Kinshasa et villages du Kongo Central. Les résultats obtenus ont indiqué les types de pertes et l'utilisation des moyens de lutte biologique dans les différents marchés et villages prospectés.

Le début et l'importance des attaques, ainsi que les moyens de protection varient d'une province à l'autre, et d'un genre (sexe) à l'autre. Il a existé des différences statistiquement significatives entre les avis au niveau des provinces d'origine et des genres interviewés. Il est établi un lien entre la présence des insectes ravageurs et les pertes de poids, qui se traduit par la perte de la valeur commerciale et du déficit économique et social. La lutte biologique (des plantes locales à vertus insecticides et variétés tolérantes de maïs) vise à contenir les dégâts causés par les maladies et les insectes ravageurs sous des niveaux économiquement acceptables dans le contexte de la production locale. Ceci en vue de proposer les stratégies de protection biologique durable et juste à développer dans la conservation du maïs vis-à-vis du charançon du maïs.

L'action bioinsecticide de six plantes locales à différentes doses contre les charançons a été évaluée avec la variété Salongo 1 dans les conditions de laboratoire. Dans l'ensemble, les espèces végétales et les doses ont été évaluées sur la prolifération d'insectes, dégâts causés et pourcentage d'attaques. Actions insecticides des plantes, à savoir : *Lantana camara* L., *Tetradenia riparia* L., *Annona senegalensis* Pers., *Vernonia amygdalina* Del., *Cymbopogon citratus*(DC) Stapf. et *Ocimum gratissimum* L., les doses 4 et 6 g dans 50 g de maïs ont manifesté des différences significatives au seuil de probabilité ($p=0,05$). La dose 6 g de *C. citratus* a réduit statistiquement le nombre moyen d'insectes morts (10,00) contre témoin (6,00) et le nombre moyen de trous de ponte (46) contre témoin (105). La dose de 6 g de *C. citratus* et de *L. camara* a eu respectivement le pourcentage d'attaques de 30,33% et de 32,67% contre les témoins qui avaient 69,50% et 53,67%. Les résultats ont indiqué les effets insecticides variant en fonction des espèces végétales et de la dose des poudres.

Les interactions des plantes insecticides : *V. amygdalina*, de *T. riparia* et de *C. citratus*, et la tolérance d'une lignée et 3 cultivars de maïs : L 55, Samaru, ZP 800 et Kasai 1 ont été statistiquement significatives. Le dispositif expérimental en split-plot avec les cultivars et la lignée de maïs en parcelles principales et les produits phytosanitaires en sous-parcelles ont montré les effets interactifs de la résistance variétale et des produits phytosanitaires en protection combinée additive. Le poids

moyen des grains troués de la variété Kasäi 1 tolérante traitée au *C. citratus* était de 4 contre 14 pour le témoin. La lignée L 55 non traitée aux produits phytosanitaires a présenté le pourcentage de pertes de poids de 10,57% le plus élevé par rapport à la variété Kasäi 1 non traitée avec 3,20%. Ces résultats traduisent les interactions significatives des vertus insecticides d'espèces végétales et la tolérance des variétés de maïs en gestion des ravageurs. Le cultivar Kasäi 1 et l'hybride ZP 800 avec les plantes insecticides : *V. amygdalina* et *T. riparia* sont les moyens de lutte à action synergique des composés d'origine végétale.

La mise en évidence des métabolites secondaires a été étudiée dans le but d'évaluer leur activité insecticide, leur rémanence et leur résidu toxique. Les activités pharmacologiques d'origine végétale ont une spécificité et une sélectivité d'action. Les propriétés insecticides ont été évaluées sur l'insecte *Sitophilus zeamais* et, ont donné des résultats à effets insecticides statistiquement significatifs. Les plantes testées sur le charançon du maïs sont aussi toxiques que les insecticides chimiques. Les extraits des décoctés des plantes ne présentent pas de danger toxique mortel pour les animaux à sang chaud après le test de toxicité sur les souris.

La persistance des poudres est meilleure vis-à-vis de *S. zeamais* pendant 10 jours de conservation des grains de maïs. Les biomolécules d'origine végétale se décomposent par des voies enzymatiques et biodégradables sans résidus toxiques sur les denrées alimentaires. Les molécules allélochimiques des plantes insecticides vis-à-vis des charançons du maïs sont statistiquement significatives comparativement à l'insecticide de synthèse (actellic). Les métabolites secondaires agissent comme barrière physique, comme antiappétant ou/et inhibiteurs de ponte, comme toxiques ou comme perturbateurs endocriniens et du contrôle hormonal des processus de développement. Ces espèces végétales contiennent les polyphénols, les tanins, les anthocyanes, les saponines, les quinones liées, les acides aminés non protéiques, les alcaloïdes, les composés phénoliques, les leucoanthocyanes, et les triterpénoïdes, et pourraient être une alternative aux insecticides organiques d'origine synthétique.

Mots clés : La protection intégrée, grains de maïs, bioinsecticides d'origine végétale, métabolites secondaires, insecticide chimique (actellic) et insecte (*Sitophilus zeamais* Motschulsky.).

Abstract

Weevil corn, junction of arthropods, insects, order of beetles of the family *Curculionidae*, class is one of the most dangerous pests for the storage of corn in Republic Democratic of Congo (DRC). As such, it constitutes a major obstacle to the conservation of the corn in sub-Saharan Africa where maize is a staple food and basis for the socio-economic development of this part of the world.

In the DRC, some assumptions have been made on the level of maize weevil attacks in the areas of production and conservation of maize. These include the lack of application of the practices of phytosanitation adequate protecting man, agro-ecosystems and the use of the varieties tolerant or resistant to pests (*Sitophilus zeamais* Motschulsky.). Another hypothesis has been advanced on the existence of the phytomolecules for the management of the pathogens of maize in conservation. These two means of biological protection of post-harvest products could be used in the alternative strategy for chemical protection of food.

The aim of this thesis is to pose the problem of the post-harvest protection and highlight by screening chemical medicinal and aromatic plant species to insecticides potentials, as well as the secondary substances involved in the protection of the stocks. This thesis reports the results of different studies in the light of the assumptions. The various categories of losses caused by the attacks of the weevils have been studied through surveys on 336 farmers in some markets of Kinshasa and villages in Kongo Central. The results indicated the types of losses and the use of biological control methods in different markets and prospects villages.

The beginning and the importance attacks, as well as the means of protection vary from one province to another, and a genre (sex) to another. It consisted of statistically significant differences between the opinion at the level of

the provinces of origin and interviewed genres. It is established a link between the presence of pests and the loss of weight, which results in the loss of the commercial value and the deficit economic and social. Biological control (of local plants to insecticide virtues and tolerant varieties of maize) aims to contain the damage caused by diseases and pests under economically acceptable levels in the context of local production. This is to propose sustainable biological protection strategies and to develop in the conservation of corn to the corn weevil.

Action bioinsecticide of six local plants to different doses against weevils was assessed with the variety Salongo 1 in laboratory conditions. Overall, the plant species and the doses were evaluated on the proliferation of insects, damage and percentage of attacks. Insecticidal action of plants, namely: *Lantana camara* L., *Tetradeniariparia* L., *Annona senegalensis* Pers., *Vernonia amygdalina* Del., *Cymbopogon citratus* (DC) Stapf. et *Ocimum gratissimum* L., doses 4 and 6 g in 50 g of maize manifested significant differences on the threshold of probability ($p = 0,05$). The dose of 6 g of *C. citratus* statistically reduced the average number of dead insects (10.00) against witness (6.00) and the average number of egg laying holes (46) against witness (105). The dose of 6 g of *C. citratus* and *L. camara* respectively had the percentage of attacks of 30,33 and 32,67% against witnesses who had 69.50% and 53.67%. The results indicated the insecticide effects vary depending on the plant species and the dose of powder.

The interactions of the insecticidal plants: *V. amygdalina*, *t. observed* and *C. citratus*, and tolerance in a line and 3 cultivars of corn: L 55, Samaru, ZP 800 and Kasai 1 were statistically significant. The experimental device in split-plot with cultivars and the lineage of maize in main plots and subplots phytosanitary products showed the interactive effects of varietal resistance and pesticides in combined protection additive. The average weight of grain had holes Kasai 1 tolerant variety processed in *C. citratus* was 4 compared to 14 for the witness. The L 55 lineage not treated with plant protection products has presented the highest 10,57% weight-loss percentage compared to the Kasai 1 variety untreated with 3,20%. These results reflect interactions meaningful deservetus insecticide of plant species and the tolerance of the varieties of maize in pest management. The Kasai 1 cultivar and the

ZP 800 hybrid with insecticidal plants: *V. amygdalina* and *t. observed* are the means of struggle to synergistic action of the compounds of plant origin.

The highlight of the secondary metabolites was studied to assess their insecticidal activity, their persistence and their toxic residue. The pharmacological activities of plant origin have a specificity and selectivity of action. The insecticide properties were evaluated on the insect *Sitophilus zeamais* and gave results in statistically significant insecticide effects. The plants tested on maize weevil are as toxic as chemical insecticides. Extracts from the decoctes of the plants are not deadly toxic danger to animals warm-blooded after the test of toxicity in mice.

The persistence of powder is better to *S. zeamais* 10 days of conservation of the corn. Biomolecules of plant origin decompose through enzymatic and biodegradable without toxic residues on food. Molecules allelochimiques of insecticidal plants from maize weevils are statistically significant compared to the synthetic insecticide (actellic). Secondary metabolites act as a physical barrier, such as antiappétant or/and inhibitors of ponte, as toxic or as endocrine and hormonal control of development processes. These plants contain polyphenols, tannins, anthocyanins, saponins, related quinones, non-protein amino acids, alkaloids, phenolics, the leucoanthocyanes, and the triterpenoids, and could be an alternative to organic insecticides of synthetic origin.

Key words: Integrated protection, grain corn, bioinsecticides of vegetable origin, secondary metabolites, insecticide chemical (actellic) and insect (*Sitophilus zeamais* Motschulsky.).

Liste des abréviations et des acronymes

ANOVA	Analysis Of Variance
AVEPAK	Association des Vendeurs des Produits Agricoles de Kinshasa
BHC	Benzène Hexa Chlorure
CCM	Chromatographie sur Couche Mince
CERE	Centre d'Etude et de Recherche en Environnement
CMUCC	Communauté Méthodiste Unie au Congo Central
CL50	Concentration létale 50 ou DL50 Dose létale 90
CL90	Concentration létale 90 ou DL90 Dose létale 90
CREN-K	Centre de Recherche et d'Etude Nucléaire de Kinshasa
CRM	Centre de Recherche sur le Maïs
C.V.	Coefficient de Variation
CYMMIT	Centro Internacional de Mejoramiento de Maiz y Trigo
DDD	Dichloro Diphényl Dichloroéthane
DDT	Dichloro Diphényl Trichloroéthane
DJA	Dose Journalière Acceptable
FAO	Food and Agriculture Organization
GTZ	Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit GmbH
HCH	Hexa chlorocyclo hexane
Hr	Humidité relative
IITA	Institut International d'Agriculture Tropicale
INERA	Institut National pour l'Etude et la Recherche Agronomique
INRB	Institut National de Recherche Biomédicale
ISP/GOMBE	Institut Supérieur Pédagogique de la Gombe
LMR	Limites Maximales de Résidus
LSD	Least Significant Differences
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
ONG	Organisation Non Gouvernementale
PAM	Programme Alimentaire Mondial
PAM	Plantes Aromatiques Médicinales

PAN Africa	Pesticide Action Network Africa
PNM	Programme National Maïs
POP	Polluants Organiques Persistants
PPDS	Plus Petite Différence Significative
UPEL	Université Patrice Emery Lumumba
UPN	Université Pédagogique Nationale
RCI	Régulateurs de croissance de l'insecte
SDN	Stimulateurs de Défense Naturelle
SENASEM	Service National Semencier

Liste des figures

FIGURE 1.1 : <i>SITOPHILUS ZEAMAI</i> MOTSCHULSKY.	23
FIGURES DES ENTREPOTS DES GRAINS DE MAÏS DANS LES PROVINCES DE KINSHASA ET DU KONGO CENTRAL (SOURCE : NDJU ESSAHO, 2013).....	38
FIGURE 2.1 CARTE INDIQUANT LES SITES DES ENQUETES ETHNOBOTANQUES (NDJU ESSAHO, 2015)	43
FIGURES DE L'ENQUETE ETHNOBOTANIQUE DES PLANTES A EFFETS INSECTICIDES	59
FIGURE 3.1.9 LES GRAINS DE MAÏS EN VENTE ET LES DEGATS CAUSES PAR LES RAVAGEURS.....	87
FIGURE 3.1.10 LES POTS CONTENANT LE <i>S. ZEAMAI</i> , LES MAÏS ET LES POUDRES VEGETALES.....	87
FIGURE 3.1.11 DENOMBREMENT DES TROUS, DES INSECTES MORTS ET SURVIVANTS	87
FIGURE 3.2.1 POURCENTAGE D'ATTAQUES DE CHARANÇON DU MAÏS VIS-A-VIS DE MAÏS	106
FIGURE 3.2.2 POURCENTAGE DES PERTES DU POIDS DES GRAINS DE MAÏS EN GRAMMES	107
FIGURE 3.2.3 ENTREPOSAGE DES POTS INFESTES PAR <i>S. ZEAMAI</i> AVEC DES POUDRES FOLIAIRES.....	113
FIGURE 3.2.4 OBSERVATION ET COMPTAGE DES TROUS, DES INSECTES MORTS ET SURVIVANTS.....	113
.....	113
FIGURE 3.2.5 DENOMBREMENT DES TROUS ET DES INSECTES MORTS ET SURVIVANTS .	113
FIGURE 4.1 : MATERIEL UTILISE POUR LA DECOQUETIONS, GAVAGE ET LE BIBERON	139
FIGURE 4.2 : GAVAGE DES SOURIS SOUMIS EN EXPERIMENTATION	139

Liste des tableaux

TABLEAU 2. 1 PLANTES A EFFETS INSECTICIDES POUR LUTTER CONTRE <i>SITOPHILUS ZEAMAI</i>	48
TABLEAU 2.2 PLANTES PRESUMEEES INSECTICIDES RETENUES.....	50
TABLEAU 2.3 REPARTITION DES INTERLOCUTEURS PAR PROVINCES, MARCHES ET GENRE.....	51
TABLEAU 2.4 FREQUENCES D'ATTAQUES DE MAÏS EGRENES	51
TABLEAU 2.5 DEGATS CAUSES PAR LE CHARANÇON.....	52
TABLEAU 2.6 MOYENS DE PROTECTION DES GRAINS DE MAÏS	53
TABLEAU 2.7 ORGANES UTILISES POUR LE TRAITEMENT	54
TABLEAU 2.8 AVIS DES ENQUETES SUR D'AUTRES RAVAGEURS DE MAÏS EN STOCKAGE	54
TABLEAU 3.1.1 GRAINS TROUES, INSECTES MORTS ET POURCENTAGE D'ATTAQUES DE MAÏS	71
TABLEAU 3.1.2 GRAINS TROUES, INSECTES MORTS ET POURCENTAGE D'ATTAQUES DE MAÏS	72
TABLEAU 3.1.3 GRAINS TROUES, INSECTES MORTS ET POURCENTAGE D'ATTAQUES DE MAÏS	73
TABLEAU 3.1.4 GRAINS TROUES, INSECTES MORTS ET POURCENTAGE D'ATTAQUES DE MAÏS	74
TABLEAU 3.2.1 NOMBRE MOYEN DES CHARANÇONS MORTS.....	98
TABLEAU 3.2.5 POIDS MOYEN DES GRAINS DE MAÏS SAINS APRES LA CONSERVATION	104
TABLEAU 4.3 QUATRE CONCENTRATIONS DES DECOCTES DES EXTRAITS BOTANIQUES	132
TABLEAU 4.4. PERSISTANCE D'ACTION INSECTICIDE ET EFFETS RESIDUELS TOXIQUES	134
ANNEXE 2.B TABLEAUX COMPLEMENTAIRES DE CALCUL DU CHI-CARRE SUR LES ENQUETES	173
TABLEAU C.1 FREQUENCE DES MOYENS DE PROTECTION EN CONSERVATION DES GRAINS DE MAÏS	176

0. Introduction générale

Le maïs (*Zea mays* L.) est l'une des vingt denrées les plus importantes pour l'alimentation humaine. En Amérique, d'où cette plante est originaire, elle fut longtemps considérée par les populations autochtones comme un « don de Dieu » (Heiser, 1973). Cultivé du Canada au Sud de l'Amérique latine pendant des millénaires, le maïs n'a traversé l'Atlantique qu'avec le retour de Christophe Colomb de l'Amérique au 19^e siècle.

Le maïs est une culture majeure pour certains pays du continent africain (Kenya, Zambie, République Démocratique du Congo, Tanzanie) alors qu'il est considéré dans d'autres (Mali, Niger, Sénégal, Burkina Faso) comme une culture de soudure (Russel, 1962, Van Der *et al.*, 1969, Howard, 1984 ; Philogène *et al.*, 1989). En République Démocratique du Congo (RDC), le maïs est la première céréale comme source énergétique (3578 cal/kg), de même que le manioc (*Monihot esculenta* Crantz.). Le maïs est actuellement la 3^{ème} culture vivrière en RDC après le manioc et le plantain ; il est la première céréale cultivée au Congo. Cependant, la production nationale reste insuffisante et le pays doit en importer des grandes quantités (Samir-Amin, 1989 et Anonyme, 1997).

Le maïs est cultivé surtout pour ses grains qui doivent éventuellement passer par une période de conservation et de transformation et est attaqué par plusieurs espèces de ravageurs en régions tropicales humides et arides, il s'agit de : *Sitophilus zeamais* Motsch. (charançon du maïs), *Sitophilus oryzae* L. (charançon du riz), *Trogoderma granarium* Everts. (trogoderme du grain), *Rhyzopertha dominica* Fab. (le capucin des grains), *Tribolium castaneum* (tribolium rouge de la farine), *Sitotroga cerealella* (alucite des céréales) et *Prostephanus truncatus* Horn. (Le grand capucin du maïs) qui préfère les épis. Ces ravageurs, non seulement augmentent fortement le pourcentage d'attaques, de pertes de poids qui entraîneraient la faible valeur commerciale et le déficit socioéconomique, mais les rendent également impropres à la consommation (Anonyme, 1985 ; Gwenniretal., 1996 ; Munyuliet *al.*, 2007 et Ndjé-Essaho et Mbayo, 2017b).

Ces bioagresseurs représentent les plus importants insectes nuisibles des céréales stockées et des cossettes de manioc en zones tropicales (Zehrer, 1981b et Piltz, 1981, Gueye, 2008b, Huignard *et al.*, 2011). Les paysans cultivateurs stockaient leurs denrées alimentaires en ajoutant à celles-ci les produits locaux tels que des substances naturelles d'origine minérale, végétale et animale pour leur protection (Dupriez *et al.*, 2000, Vincent *et al.*, 2003, Regnault- Roger *et al.*, 2008, Philogène *et al.*, 2008). Néanmoins, les moyens de protection les plus efficaces sont les pesticides chimiques (Relinger *et al.*, 1988) et Haubruge *et al.*, 1988). Pour la protection des stockset des semences, les insecticides fréquemment utilisés sont lespyréthriinoïdes de synthèse,les organophosphoréset les carbamates (Gwinner *et al.*, 1996).

D'après Singh et Singh (1992), Isman (2006) et Pululu *et al.* (2017) plusieurs pays en développement font encore recours aux organochlorés comme le DDT, DDD, HCH et autres polluants organiques persistants (POP) qui sont des molécules déjà radiées par la législation de l'Union Européenne. Toutefois, les insecticides chimiques présentent beaucoup d'inconvénients et de nocivité, parmi lesquels l'accoutumance et l'apparition des souches résistantes (Gilliom *et al.*, 1999, Benhalima *et al.*, 2004), les intoxications, la pollution de l'environnement et les désordres écologiques (Regnault-Roger, 2002).Actuellement, cette situation devient une préoccupationimpérieuse dans les pays industrialisés. Ceci a entraîné le retrait de nombreux POP du secteur agricole (Zettler et Arthur, 2000 ; IITA, 2008).

Toutes ces raisons militent en faveur de la recherche des méthodes alternatives de protection agricole. On pense en particulier à l'utilisation des extraits des plantes à propriétés insecticides et biodégradables, faciles à adopter par les agriculteurs et phytoprotecteurscongolais.De nos jours, nombreuses recherches sont orientées vers ces moyens naturels de protection biologique d'origine végétale. De ce fait, les méthodes traditionnelles, les mesures prophylactiques et l'utilisation de variétés tolérantes ou résistantes doivent être encouragées et exploitées pour protéger les récoltes et le pouvoir d'achat. Il est donc hautementnécessaire de poursuivre la recherche de nouvelles molécules allélochimiques végétales en prenant en compte d'autres critères (Zehrer, 1981a).

La présente recherche vise l'identification des moyens de lutte à base des plantes à potentiel insecticide contre les insectes qui rongent le maïs. Plusieurs plantes se protègent par divers moyens, en synthétisant des métabolites secondaires diversifiés avec des vertus insecticides, qui affectent profondément le comportement et la physiologie des ravageurs phytophages (Amotabi, 1994 et Djidonou, 2000). Plusieurs molécules allélochimiques végétales qui présentent une action défensive du végétal contre les bioagresseurs ont été identifiées (Glitho, 2002a, Huignard *et al.*, 2011). A ce jour, plus de 2000 espèces végétales dotées d'activités insecticides ont été répertoriées et leurs métabolites secondaires identifiés appartenant à des familles chimiques très diverses dont les alcaloïdes, les composés azotés et soufrés, les substances polyphénoliques, les terpenoïdes et stéroïdes, etc. Les plantes aromatiques et médicinales (PAM) constituent une véritable banque de ces molécules bio-actives. D'autres auteurs, dont Adjanohoun *et al.* (1988), Glitho, (2002b), Ketoh *et al.* (2002) ont entrepris des études ethnobotaniques et de protection phytosanitaire des cultures et des produits de stock.

Au Kivu, en RDC, il existe plusieurs procédés endogènes de lutte contre les insectes nuisibles des légumineuses et des céréales en post-récolte dans des greniers : extraits végétaux (métabolites secondaires), matières minérales (sable, latérite, cendre, poussière de roche, argile fine, chaux agricole), bon séchage au soleil, fumage des graines, etc. Cependant, il existe, dans la pratique traditionnelle, des variations dans les dosages et dans les types de mélanges d'un paysan à l'autre et d'un village à l'autre (Kolama *et al.*, 2008). Delobel et Malongo (1987) en République du Congo, qui ont réalisé des travaux d'évaluation d'efficacité insecticide de plusieurs plantes à propriété insecticide (toxique, répulsive et antiappétente) sur certains Arthropodes de l'ordre des Coléoptères. En RDC, les effets insecticides des espèces végétales ont déjà été étudiés au moyen des travaux de Goossens *et al.* (1994) ; Munyuli (2001) ; Kaloma *et al.* (2008) ; Munyuli *et al.* (2009) ; Ndjé-Essaho *et al.* (2017). Au Sénégal, Seck (1991, 1992) a abordé la dynamique des populations de quelques insectes ravageurs du mil et a ensuite essayé les méthodes de lutte intégrée pour la gestion de ces populations de ravageurs. Les résultats de ces travaux ont mis en évidence les activités insecticides des molécules

allélochimiques végétales contre bon nombre de phytophages de l'ordre des Coléoptères des produits stockés. C'est dans ce cadre que s'inscrit cette étude.

0.1 Problématique

Les denrées alimentaires sont habituellement attaquées par les insectes au cours de leur entreposage et de leur transformation depuis le début de la civilisation humaine. Les paysans pratiquaient des techniques traditionnelles avec les espèces tolérantes de céréales en ajoutant aux denrées les produits locaux tels que les minéraux, les huiles, les feuilles ou extraits de plante pour leur protection contre les infestations multiples depuis des siècles (Foua-Bi, 1992, Vincent *et al.*, 2003, Regnault-Roger *et al.*, 2008, Philogène *et al.*, 2008). D'après ces auteurs, les produits végétaux à action phytosanitaire ont une très longue histoire. Les techniques ainsi que les cultivars, traditionnellement bien établis, ont apporté leur preuve d'efficacité dans plusieurs pays africains. Ces pratiques ont été abandonnées au profit des méthodes modernes telles que la lutte biologique, la lutte raisonnée et la lutte intégrée à cause de nombreux changements subis par l'agriculture au cours des dernières décennies (Thiam et Ducommun, 1993). Malgré les moyens dont disposent la science et la technique, les ravageurs continuent encore de peser lourdement sur le bilan des pertes économiques et sociales.

Les dégâts et pertes de poids les plus importants sont infligés par différentes espèces de ravageurs tels que les Coléoptères, Lépidoptères et acariens (Alzouma *et al.*, 1996). Parmi les coléoptères, le charançon du maïs (*Sitophilus zeamais* Motschulsky.) de l'ordre de *Coleoptera* de la famille de *Curculionidae* est universellement reconnu comme l'un des plus dévastateurs des céréales entreposées, non seulement en raison de sa propre consommation, mais aussi parce qu'elle ouvre en plus la porte à tout un ensemble de détritivores dont le plus fréquent est le *Tribolium* rouge de la farine (*Tribolium castaneum* Herbst) (*Coleoptera: Tenebrionidae*) qui parachève les dégâts (Seck, 1994).

En Europe occidentale et en Amérique du Nord où les techniques antiparasitaires perfectionnées sont mises en place, les insectes détruisent encore annuellement pour plus de 3 milliards de dollars des denrées agricoles ou forestières (Akob et Ewete, 2007). Dans les pays en développement, surtout dans les pays à zone climatique dite aride, les estimations varient de 30 à 50% des récoltes (Hall,

1970, Alzouma, 1990, Foua-Bi, 1992). En Afrique Centrale et au Kivu (RD Congo), des pertes de poids des denrées stockées (haricot, maïs, sorgho), de l'ordre de 10 à 60%, sont occasionnées chaque année par les principaux ravageurs de stock (*Sitophilus zeamais* Motsch., *Sitophilus oryzae* L., *Acanthoscelides obtectus* Say. et *Callosobruchus maculatus* Fab.) de la région (Munyuli et Balezi, 2001). Autrement dit, le tiers ou la moitié de ce qui est produit ne parvient jamais aux consommateurs et le travail et l'argent investis sont irrémédiablement perdus (Wheathey, 1973 et Weidner et Rack., 1984).

Les moyens de protection les plus efficaces sont les pesticides chimiques (Hall, 1970, Relinger *et al.*, 1988; Haubruge *et al.*, 1988). D'après Isman (2002), plusieurs pays en développement font encore recours à l'insecticide DDT et autres polluants organiques persistants (POP). D'après Anonyme (2001a), environ 30% de produits commercialisés particulièrement dans les pays d'Afrique subsaharienne ne répondent pas aux normes de qualité internationale à cause du manque de moyens de contrôle efficace. Ceci suscite non seulement des problèmes de résistance chez les insectes ravageurs mais, entraînerait aussi des effets nocifs sur les écosystèmes et la santé humaine. Les insecticides posent, en outre, des problèmes de disponibilité, de stockage et de coût.

Selon Traoré *et al.* (1996), Anonyme (2003), Isman (2006), les produits chimiques sont utilisés d'une façon abusive et impropre dans la plupart des pays africains. Les paysans détournent souvent des pesticides à d'autres usages que ceux pour lesquels ils étaient destinés et utilisent les pesticides toxiques sans mesures de protection adéquates à cause des taux d'analphabétisme élevés, un exemple (thiodan). L'environnement (sol, sous-sol, air, eau, flore et faune) se trouve ainsi exposé à la contamination par les pesticides à toutes les périodes de production, de mélange ou d'applications des produits, de transport et de semence des grains. Les pesticides peuvent être transportés soit par le vent au cours du traitement, soit par les grains traités après les semis, soit par le biais du système d'égouts et par les ruissellements en provenance des champs et des lieux de traitement pour se retrouver dans les étendues d'eau où ils auront la possibilité de pénétrer en différents niveaux de la chaîne alimentaire (Thiam et Ducommun, 1993, Raven *et al.*, 2006).

Les travailleurs, principalement les femmes et les enfants, les animaux domestiques et tous les autres êtres vivants dans ces zones agricoles sont ainsi exposés aux contaminations soit par l'air qu'ils respirent, soit par l'eau qu'ils boivent ou la nourriture qu'ils consomment. Dans les champs, les oiseaux pollinisateurs et granivores peuvent absorber les pesticides par leurs pattes ou par leur peau, les inhaler ou les ingérer avec les grains ou avec les insectes contaminés. La présence des résidus toxiques élevés de pesticides dans les denrées alimentaires n'est également pas exclue dans les structures de stockage et de transformation.

Plusieurs auteurs (Anonyme, 1991, Anonyme, 2001b, Farr *et al.*, 2004, Carlos et Sousa, 2006) ont associé les pesticides à des problèmes de santé et d'environnement. D'après ceux-ci, les pesticides chimiques sont, de par leur nature, des produits dangereux et toxiques même à très faibles doses. Isman (2006) affirme qu'un nombre important de travailleurs dans les pays tropicaux et subtropicaux sont intoxiqués ou tués chaque année par des pesticides toxiques à effets aigus dont ils ignorent le mode d'emploi. Anonyme (2003) a rapporté aussi que près de 750.000 personnes de ces pays contractent chaque année une maladie chronique tels que le cancer, les maladies du foie et des reins suite à une exposition prolongée à des pesticides. Il rapporte aussi que plus de 20.000 décès et 3.000.000 cas d'empoisonnements sont liés aux pesticides.

Nombreux auteurs ont affirmé que l'utilisation inconsidérée des pesticides chimiques a eu d'autres conséquences néfastes, notamment la réduction de la biodiversité, la destruction d'une grande partie des organismes utiles tels que les organismes décomposeurs qui participent à la construction de l'humus et aux cycles biogéochimiques ainsi que nombreux prédateurs naturels et des parasites. Aussi, le nombre d'espèces d'insectes nuisibles devenues résistantes aux pesticides a augmenté significativement dans le monde et des pêcheries commerciales ont été également décimées dans plusieurs pays (Gwinner *et al.*, 1996, Gilliom *et al.*, 1999, Dauguet *et al.*, 2006).

Cet état de choses constitue aujourd'hui une grande préoccupation dans les pays industrialisés. Plusieurs pays, notamment ceux de l'Europe et de l'Amérique comme le Canada ont instauré une réglementation stricte vis-à-vis des pesticides afin de

limiter leur utilisation. Cette pratique a entraîné le retrait de nombreux polluants organiques persistants (POP) du secteur de la production alimentaire. Malheureusement, ce n'est pas le cas dans les pays en développement où la réglementation est encore au stade embryonnaire et/ou inexistant. Cette utilisation incontrôlée des polluants organiques persistants (POP) est sur le point d'accroître la fréquence des pénuries alimentaires et une malnutrition chronique. Or, la pénurie de denrées alimentaires empêche non seulement les ménages pauvres de produire et/ou de conserver leur nourriture, mais elle les prive aussi de moyens de satisfaction d'autres besoins.

La protection contre les ravageurs devient donc une nécessité économique et sociale impérieuse pour tous les pays du monde, quel que soit leur degré d'évolution scientifique et technologique. D'après Ducommun (1993), Camara (1997, Vincent *et al.* (2000), Vincent *et al.* (2007), Chiasson *et al.* (2008), les moyens naturels de contrôle des ravageurs constituent les éléments importants de nos systèmes de production. Selon ces auteurs, les pays en développement représentent les débouchés les plus prometteurs pour les insecticides d'origine végétale. De nos jours, un grand nombre de recherches est axé sur ces moyens naturels de défense. De ce fait, les méthodes traditionnelles doivent être encouragées par la recherche chez les petits exploitants afin de les aider à protéger la biodiversité, leurs récoltes et de sauvegarder leur pouvoir d'achat. C'est dans cette optique que nous avons proposé d'évaluer l'action insecticide de quelques plantes et quelques variétés de maïs locales afin de valider les solutions alternatives à l'utilisation des pesticides dans les stockages céréaliers locaux.

0.2 Hypothèses

En entreprenant cette étude, nous avons retenu sur terrain des observations qui permettent de penser que :

- Les exploitants agricoles des provinces de Kinshasa et du Kongo Central disposeraient des informations sur les effets insecticides des plantes médicinales et aromatiques pour la protection et la conservation des maïs ;

- Les différentes doses des formulations en poudre des plantes pourraient avoir des efficacités insecticides pour empêcher la prolifération, les touaisons des grains, les pourcentages d'attaques et des pertes de poids causés par des insectes ravageurs ;
- Les espèces végétales à effets insecticides et les cultivars tolérants ou résistants de maïs auraient une action synergique combinée additive pour le contrôle de ravageurs et les moyens biologiques de protection des denrées alimentaires ;
- Les plantes insecticides contiendraient des substances polyphénoliques, soufrées, terpénoïdes, stéroïdes, alcaloïdes et des composés azotés impliqués dans la protection des maïs stockés, biodégradables et sans résidus toxiques.

0.3 Objectif global

Il s'agit de mettre à contribution le rôle joué par l'utilisation des bioinsecticides à base de poudres végétales et le patrimoine génétique de quelques variétés de maïs en protection biologique des maïs égrenés vis-à-vis de *Sitophilus zeamais* en République Démocratique du Congo. Cette combinaison de deux moyens de lutte biologique assurerait une maîtrise du savoir-faire endogène, deviendrait une alternative et l'un des moyens de contrôle économiquement fiable, écologiquement sain et socialement équitable.

0.4 Objectifs spécifiques

Sur le plan opérationnel, les objectifs spécifiques ci-après vont être tour à tour poursuivis et visités :

- Répertorier les espèces végétales insecticides qui sont utilisées par les petits exploitants agricoles ;
- Evaluer l'efficacité des insecticides d'origine végétale avec différentes doses dans la gestion de *Sitophilus zeamais* Motschulsky. ;
- Identifier les plantes à vertus insecticides, évaluer la tolérance ou la résistance des maïs et leur action synergique combinée additive pour le contrôle de *S. zeamais*;

- Mettre en évidence, extraire et caractériser les métabolites secondaires et leur synthèse à effets insecticides et évaluer la rémanence et les résidus toxiques.

0.5 Intérêt d'études et travaux antérieurs

L'utilisation des produits phytosanitaires (organiques ou de synthèse) a « explosé » depuis la fin de la 2^{ème} Guerre Mondiale et a provoqué un essor considérable des productions agricoles et alimentaires. Les produits phytosanitaires ont donc participé à la révolution agricole de la 2^{ème} moitié du 20^{ème} siècle.

Ce n'est qu'à partir des années 1960 que l'on prend conscience de l'impact environnemental négatif de ces produits phytosanitaires, insecticides organiques d'origine synthétique tous neurotoxiques (Carson, 1962 cité Regnault-Roger, 2014) :

- Modification de la faune, de la flore, du sol et du sous-sol ;
- Contamination lourdement de l'air et de l'eau ;
- Phénomène de résistance aux pesticides chez les nuisibles (plantes, insectes, champignons) ;
- Toxicité à long terme chez les animaux et l'homme.

Il était donc nécessaire d'imaginer des stratégies alternatives s'intégrant dans une démarche de « développement durable ». La définition du développement durable est indiquée dans le traité de Maastricht de l'Union Européenne comme celui qui « *répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à satisfaire les leurs* ». La notion de développement durable intègre les dimensions économiques, écologiques et sociales.

A ce début du 21^{ème} siècle, les chercheurs ont réussi à synthétiser les molécules moins nocives et peuvent ainsi proposer des solutions alternatives. Cependant, la seule utilisation seule de ces produits ne suffit pas, elle doit s'accompagner d'une démarche plus globale de « *lutter raisonnée et intégrée* ».

Parmi ces stratégies alternatives, on peut citer l'utilisation :

- ✓ des microorganismes et des prédateurs naturels des organismes phytophages
- ✓ des substances sémiachimiques (Allélochimiques et Pheromones) ;
- ✓ des organismes génétiquement modifiés

L'utilisation des microorganismes et les OGM sont aujourd'hui assez connus des agriculteurs et du grand public en France. En ce qui concerne les substances sémiachimiques, leur utilisation reste encore très occasionnelle et n'est « réservée » qu'aux gros producteurs agricoles (dans le Sud de la France). Dans l'agriculture, ce sont les molécules sémiachimiques de défense, agissant sur de nombreuses espèces comme les insectes, les nématodes, les microorganismes et les phytopathogènes (champignons et bactéries) qui sont étudiées et utilisées. Les phéromones et les molécules allélochimiques des végétaux représentent actuellement une part active et importante des composés commercialisés (Regnault-Roger *et al.*, 2008).

0.6 Subdivision du travail

Outre l'introduction générale, la conclusion générale et les perspectives, le présent travail comprend quatre chapitres.

- Le premier évoque la généralité sur les pesticides ainsi que l'évolution des moyens de contrôle des insectes nuisibles des denrées en stock et les plantes insecticides ;
- Le second présente les résultats des enquêtes ethnobotaniques des provinces de Kinshasa et du Kongo Central, et les espèces végétales insecticides utilisées pendant la conservation ;
- Le troisième évalue le pouvoir insecticide des formulations en poudre des plantes avec leurs doses et la tolérance ou résistance des cultivars de maïs vis-à-vis de *Sitophilus zeamais* Motschulsky. en conservation ;

- Le quatrième et dernier chapitre met en évidence les métabolites secondaires, la persistance et les résidus toxiques des extraits aqueux et alcooliques des plantes insecticides vis-à-vis de *Sitophilus zeamais* Motschulsky.

Chapitre premier

Revue de la littérature

Ce chapitre présente la revue de la littérature sur les méthodes de lutte, les différentes générations des pesticides et leur évolution avec les différentes révolutions agricoles et la protection de céréales post-récolte

1.1 Généralités sur le maïs (*Zea mays* L.)

Le maïs n'est pas seulement une céréale importante dans le monde actuel, mais il a été l'une des cultures vivrières de base en Amérique avant l'arrivée de Christophe Colomb à la fin du XV^{ème} siècle, aussi bien chez les Indiens du Mexique et du Guatemala, que chez les Incas du Pérou, de la Bolivie et de l'Equateur. Le maïs est, en fait une culture des civilisations pré-columbiennes en Amérique et une des vingt denrées les plus importantes pour l'alimentation humaine et des animaux domestiques. La République démocratique du Congo, malgré sa potentialité écologique qui répond favorablement à cette culture vivrière, accuse toujours un déficit par manque d'une volonté politique agricole réelle pour accroître la production, le contexte d'insécurité alimentaire ; il est marqué par des pertes en culture et en post-récolte non négligeables (Kankonde et Tollens, 2001 ; Bärnaure, 1978 cité par Loma 1990, Philogène *et al.*, 1989).

1.1.1 Taxonomie, description et écologie

Le maïs est une plante tropicale annuelle, herbacée de la famille de Poaceae, tribu des Maydeae et ordre des Cypirales. Supposé originaire de l'Amérique Centrale, notamment du Mexique (Ristanovic, 2001). En définitive, l'origine du maïs reste encore imprécise, même si l'on s'accorde pour penser que son évolution vers des formes modernes s'est essentiellement déroulée en Amérique Centrale. La tige unique de gros diamètres est pleine, lignifiée et formée de plusieurs entrenœuds d'une vingtaine de centimètres séparés par autant de nœuds. Au niveau de chaque nœud est insérée une feuille alternativement d'un côté et de l'autre côté de la tige. Contrairement aux autres *Poaceae*, le pied de maïs ne talle pas ; toutefois, on voit parfois des tiges secondaires, de taille limitée, à la base de la tige principale. Le système racinaire comprend un très grand nombre de racines adventives qui naissent sur les nœuds situés à la base de la tige. C'est une espèce à pollinisation croisée où les inflorescences femelles (épis) et mâles (panicules) occupent des endroits distincts sur la plante (Ristanovic, 2001). Le maïs est une plante C₄ héliophile qui se développe en pleine lumière, et allogame à tel point qu'il exige beaucoup d'eau, en raison de la grande quantité de matière organique produite lors de la croissance et de la fructification (Anonyme, 2003).

La culture du maïs est répandue, répartie dans le monde, du 50° de latitude Nord au 50° latitude Sud et du niveau de la mer à plus de 3.600 m d'altitude et avec des cycles de croissance oscillant entre 3 et 13 mois. Il s'agit d'une espèce plastique et elle a d'énormes variabilités génétiques ; ce qui lui permet de prospérer bien sur les basses terres tropicales, subtropicales et tempérées (Anonyme, 2003). Le maïs préfère les sols profonds et riches en éléments minéraux mais peut s'accommoder de conditions plus difficiles, comme des sols sableux ou argileux, voire calcaires, sous réserve de lui assurer les apports d'eau et d'éléments nutritifs nécessaires. Il s'adapte très bien aux types et aux états de sol différents et cultivés presque dans toutes les provinces qui répondent à ses conditions écologiques. Le maïs représente actuellement la 1^{ière} céréale et la 3^{ème} culture vivrière en RD du Congo après le manioc et le plantain. Cependant, la production nationale reste insuffisante et le pays doit en importer de grosses quantités occasionnant des pertes énormes en devises (Anonyme, 1997).

1.1.2 Types variétaux

En zone tropicale, le maïs est cultivé dans des conditions écologiques ou socio-économiques très diverses. Son utilisation alimentaire traditionnelle exige que le produit corresponde aux préparations culinaires, à la qualité et aux goûts de différents consommateurs et communautés. Pour répondre à ces exigences, il faut disposer d'une gamme de variétés. Elles doivent, enfin, être appréciées des utilisateurs : les qualités de mouture et de conservation sont des critères essentiels. Les trois types variétaux hybrides, synthétiques et population seront encore longtemps utilisés en milieu tropical, même si on observe une progression des variétés améliorées et des hybrides au détriment des écotypes (Kumar, 2002 et Mumba, 2016).

L'amélioration de la quantité et de la qualité des protéines du grain fait aussi partie des critères de sélection. Les sélectionneurs tentent de créer des variétés à haute teneur en protéines et riches en acides aminés essentiels déficients. Un premier objectif est l'obtention du maïs dont le grain possède une teneur en protéines voisine

de 15%. Le second est d'augmenter la teneur en acides aminés déficients qui sont la lysine et le tryptophane. Mais une augmentation de la teneur protéique totale correspond à une augmentation de la teneur en zéine, prolamine pauvre en lysine et tryptophane. Il existe donc une relation négative entre la teneur en protéines et celle en acides aminés essentiels (lysine et tryptophane). L'amélioration qualitative peut se pratiquer soit en augmentant l'importance du germe dont les protéines sont bien équilibrées, soit en améliorant la composition des protéines de l'endosperme qui est de qualité médiocre, car elles sont déficientes en lysine et en tryptophane (Anonyme, 2008b).

1.1.3 Description du grain

Le fruit est appelé grain ou caryopse. Après la fécondation, les deux parties du grain constituent un seul grain, c'est-à-dire l'embryon qui deviendra la nouvelle plante, et l'endosperme amylacé qui sert de réserve nutritionnelle (albumen et cotylédon). Les principaux composants du grain sont les hydrates de carbone (amidon et sucres), les protéines, les graisses et huiles (dans l'embryon) et les éléments minéraux. Environ 75% de grains sont constitués d'amidon dont le taux varie de 60 à 80%, la quantité de protéines est relativement basse et varie de 8 à 11% et renferme 4 à 5% d'huile dans l'embryon (Ristanovic, 2001).

1.1.4 Valeur alimentaire et importance économique

Le maïs est une céréale importante dans l'alimentation humaine, et cela se justifie, entre autres : par la bonne digestibilité de sa matière organique et sa valeur énergétique relativement élevée. Le contenu calorique moyen de tout repas à base de maïs est estimé à 3.578 calories par kilogramme (Anonyme, 2003). Il contient également des protéines (8 à 11%), de fibre alimentaire, des vitamines (A et E) et des sels minéraux (P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Cu, Mn, Zn). Le maïs est aussi utilisé dans l'alimentation animale. En 2.000, environ 65% de la production mondiale étaient destinés à la nourriture du bétail (Anonyme, 2008b). En plus de sa valeur énergétique importante, le maïs offrait jadis une opportunité alimentaire considérable par rapport aux autres céréales en raison de sa distribution mondiale et de son bas prix. Le maïs

contribue fortement dans les économies des pays développés et en développement. Selon Anonyme (2003), aux Etats-Unis d'Amérique, le simple grain de maïs trouve une valeur économique importante comme des produits comestibles et non comestibles (caoutchouc, plastiques, combustibles, vêtements additifs et plusieurs autres).

1.1.5 Variétés résistantes

Des variétés résistantes aux agents pathogènes et ravageurs ont été développées afin de limiter les diverses catégories de pertes en fonction de leurs causes spécifiques en conservation et au champ. Le maïs a été particulièrement étudié dans les pays tropicaux (Kumar, 2002 ; Schoonhoven *et al.*, 1976) et en Afrique occidentale suite à la récente apparition de *Prostephanus truncatus* (Horn) dans le continent. Des caractéristiques telles que la rugosité de la surface et le poids des grains ainsi que la dureté de caryopse peuvent réduire les pertes dues à *Sitophilus* spp., *Rhyzoperthadominica*, *Tribolium castaneum*, *Trogoderma granarium* et *Prostephanus truncatus* à cause d'un faible taux de multiplication et de croissance des populations (Golob, 1984).

Le problème se pose de façon différente pour le maïs entreposé sous forme de grains ou d'épis mais n'exclut pas l'utilisation des lignées présentant un ou plusieurs facteurs de résistance. On a longtemps lié la résistance des grains de maïs à *Sitophilus zeamais* et *Prostephanus truncatus*, à des facteurs physiques : protection par les spathes ; dureté de l'enveloppe ; faible teneur en eau (Dobie, 1977 ; Gomez *et al.*, 1983 ; VanDer *et al.*, 1969 ; Russell, 1962). Il a été admis qu'un grand nombre de variétés à haut rendement cultivées dans le cadre de la « révolution verte » était plus sensible aux parasites et ravageurs des denrées alimentaires stockées que les variétés locales (Appleby et Credland, 2003 et Ogendo *et al.*, 2004). L'utilisation des variétés tolérantes ou résistantes peut être considérée comme une excellente mesure prophylactique à condition toutefois qu'elles satisfassent aux normes de qualité nécessaires (Mumba, 2016).

1.2 Généralités sur les pesticides chimiques

Après la deuxième guerre mondiale, les méthodes de protection des cultures et des denrées stockées furent complètement changées suite à la découverte du dichloro diphényl trichloroéthane (DDT). Cet insecticide devait d'abord répondre aux besoins militaires dans la lutte contre les insectes d'importance médicale qui transmettaient des maladies avec des pertes en hommes pendant la seconde guerre mondiale. En même temps, le dichloro diphényl trichloroéthane avait aussi donné satisfaction dans la lutte contre les insectes nuisibles des cultures et des produits stockés. Selon Coraf (2007) et Anonyme (2003), les insecticides chimiques posent des problèmes de disponibilité, de stockage, de gestion et de coût et ils sont utilisés d'une façon abusive et impropre dans la plupart des pays du Sud. Dans les pays en développement, les utilisateurs de ces produits ne sont pas formés et informés aux problèmes d'hygiène, de sécurité et de législation agricole (Anonyme, 1991 ; Carlos et Sousa, 2006 ; Cliss, 2009).

1.2.1 But et début des méthodes de lutte contre les organismes nuisibles en agriculture

Pour protéger ses aliments tant au champ que dans les entreposages, l'homme sentit alors la nécessité de lutter contre les organismes nuisibles des cultures et des produits de récolte. Les premières méthodes de lutte ont été simples ; telles que celles de ramassage et de destruction des insectes ravageurs et d'autres organismes rencontrés sur les cultures et les produits de post-récoltes. Les Chinois furent les premiers peuples à utiliser les méthodes biologiques organisées de lutte contre les insectes nuisibles. En effet, ils avaient déjà utilisé, aux temps immémoriaux ;

- la craie et la cendre de bois;
- les ennemis naturels (parasitoïdes et prédateurs) ;
- l'association des ennemis naturels avec la manipulation de la période de semis pour éviter les dégâts causés par les ennemis des cultures ;

Les Chinois furent aussi le premier peuple à utiliser la lutte biologique classique. Vers 300 Ap.J.C., ils plaçaient des colonies de fourmis prédatrices dans des vergers d'orangers pour détruire les populations des chenilles et coléoptères foreurs. En Europe, pendant ce temps, la lutte contre les ennemis des cultures était basée sur la religion, la superstition et sur l'approche légale, bien que les insecticides végétaux et les dérivés arsenicaux aient été connus pendant les Empires romain et grec (Regnault-Roger et Vincent, 2002).

Avec l'évolution de l'agriculture entre 1870 et 1890, les méthodes de lutte organisées furent introduites en Europe. *Phylloxera vitifoliae* phylloxera de la vigne et le mildiou furent contrôlés en France à l'aide de la bouillie bordelaise et du vert de Paris, en association avec l'emploi des variétés résistantes (venant des Américains). En 1888, le succès éclatant enregistré contre la cochenille (*Icerya purchasii*) par l'emploi de la cochenille vedalia (*Rodolia cardinalis*) avait montré que la lutte biologique classique était une méthode efficace contre les ennemis des cultures (Grainge et Ahmed, 1988 et Seck et Gaspar, 1992).

1.2.2 Période après la découverte du Dichloro Diphényl Trichloroéthane (DDT)

Si avec les premiers pesticides (botaniques, dérivés arsenicaux, soufre et les deux fongicides cupriques) l'équipement pour l'application de ces pesticides ainsi que leur industrie n'étaient pas développés, pour la mise au point du dichloro diphényl trichloroéthane. Des instructions simples relatives à l'application des pesticides furent distribuées aux agriculteurs par les compagnies qui fabriquaient les pesticides.

Vers les années 1936, le Suisse Paul Hermann Müller a mis en évidence les propriétés pesticides d'un composé synthétisé par le Strasbourgeois Othmar Zeidler en 1874 mais sans en connaître le caractère insecticide : il s'agit du dichlorodiphényltrichloroéthane (DDT). La compagnie CIBA à Bâle (en Suisse) proposa un nouveau produit à l'armée américaine qui recherchait un pesticide de remplacement au pyrèthre. Les insecticides organiques de synthèse sont des

molécules carbonées issues de la synthèse chimique (composés synthétiques ou héli-synthétiques).

Ces molécules sont arrivées sur le marché au moment de la **seconde guerre mondiale** ou des années suivantes et se définissent en trois grandes familles chimiques : les organochlorés, les organophosphorés et les carbamates.

- Les organochlorés possèdent dans leur structure au moins une liaison carbone-chlore. Toutefois, ils se caractérisent par leur stabilité chimique, leur apolarité et leur lipophilie. Les organochlorés sont neurotoxiques. Ils agissent au niveau du système nerveux en perturbant la transmission de l'influx nerveux le long des axones. Certains ne sont plus d'usage en agriculture.
- Les organophosphorés contiennent un atome de phosphore dans leur structure chimique. Ils sont neurotoxiques. Lorsqu'ils atteignent les synapses, ils inactivent l'acétylcholinestérase ; ce qui inhibe la dégradation de l'acétylcholine provoquant ainsi son accumulation dans les synapses. Et cela entraîne une hyperexcitation qui conduit à la mort de l'insecte.
- Les carbamates sont généralement des pesticides non sélectifs dont les propriétés permettent d'agir de plusieurs façons ; ce qui permet de mieux cibler leur usage. Ils sont à la fois des insecticides de contact, fumigants et légèrement systémiques et ont un large spectre d'activités et une toxicité relativement faible envers les mammifères.

1.3 Généralités sur *Sitophilus zeamais* Motschulsky.

Les différentes espèces de charançons se distinguent par leur comportement, leur morphologie, l'importance des dommages causés et leurs réactions face aux moyens de lutte. Pour être en mesure d'apporter une réponse aux lourdes pertes causées par ces insectes, il est absolument indispensable de passer en revue leur taxonomie, leur biologie et l'écologie dont la plupart sont d'une importance économique et agricole, surtout dans les régions tropicales chaudes et humides du monde.

1.3.1 Taxonomie et distribution

La famille de *Curculionidae* constitue un groupe homogène d'insectes cléthrophages dont le développement se déroule à l'intérieur d'un seul et même grain (Delobel et Tran, 1993). Le genre *Sitophilus* comprend trois espèces ci-après : *S. oryzae* Linné., *S. granarius* Linné. et *S. zeamais* Motschulsky. Le résumé hiérarchisé de la taxonomie de *Sitophiluszeamais* Motschulsky. est représenté ci-dessous (Delobel et Tran, 1993).

- Règne : *Animalia* ;
- Embranchement : *Arthropoda* ;
- Sous-embranchement : *Hexapoda*, *Mandibulates* ou *Antennates* ;
- Classe : *Insecta* ;
- Sous-classe : *Pterygota* ;
- Infra-classe : *Neoptera* ;
- Superordre : *Coleopteroïdes* ;
- Ordre : *Coleoptera* ;
- Sous-ordre : *Polyphaga* ;
- Famille : *Curculionidae* ;
- Sous-famille : *Dryophthorinae* ;
- Genre : *Sitophilus* ;
- Espèce : *Sitophiluszeamais* ;

De par leur distribution, *Curculionidae* constituent l'un des groupes de ravageurs inféodés aux céréales à grain les mieux connus. Elles existent sur tous les continents, excepté l'Antarctique. Selon Delobel (1994), plusieurs espèces se développent aux dépens des plantes cultivées et sont devenues des ravageurs économiques (Delobel et Tran, 1993).

Le genre *Sitophilus* renferme un grand nombre d'espèces ayant une distribution paléotropicale. Elles peuvent se reproduire sur les plantes, au champ et dans les grains secs des entrepôts. Plusieurs espèces sont signalées dans la nature (aux Etats Unis), dans des fruits de *Quercus* sp., et principalement dans des denrées alimentaires en conservation des grains entiers ou brisés de céréales. La présence de *Sitophilus zeamais* a souvent pour résultat l'infestation par diverses moisissures dont *Aspergillus* spp, (Delobel et Tran, 1993).

1.3.2 Développement

Les pontes débutent quelques jours après l'accouplement et se poursuivent pendant quatre mois. Les femelles déposent les œufs au fond des cavités creusées dans l'endosperme du grain qu'elles perforent avec leur rostre et rebouchées à l'aide d'un tampon mucilagineux qui durcit à l'air. La larve ronge l'endosperme, se mue et s'y nymphose. Le cycle de vie dure environ 24 jours et l'imago émerge au bout d'une semaine. Dans les conditions optimales en zones tropicales 20°C (entre 17 et 34°C) et 70% d'humidité relative (entre 45 et 100%). La durée de l'œuf à l'adulte est de 36 jours à 27°C. Les céréales ayant une teneur en eau inférieure à 10% ne sont que peu attaquées. Le développement est possible dans des grains ayant une teneur en eau plus élevée (ex. *Sitophilus oryzae* Linné.). C'est pourquoi il est capable d'infester les céréales, en particulier le maïs, avant la récolte (Delobel, 1994).

Les larves commencent la vie de ravageur après l'éclosion des œufs. Il existe quatre stades de développement : l'œuf, la larve, la nymphe et l'adulte. Les trois premiers se développent essentiellement à l'intérieur du grain. La durée de ce cycle de vie varie en fonction des espèces et des facteurs climatiques et des conditions de stockage. Cependant, il faut noter que les œufs éclosent après 4 à 9 jours pour donner naissance à des petites larves blanches apodes, et qui se nourrissent de l'endosperme et détruisent l'embryon. Les adultes émergent 5 à 16 jours supplémentaires et vivent environ 3 à 5 mois (Harnisch, 1981 ; Delobel et Tran, 1993). Au terme de la nymphose, l'adulte émerge du grain pour commencer un nouveau cycle après avoir traversé la fente de sortie préparée par la larve. Le

pourcentage le plus élevé d'adultes s'obtient à partir des œufs pondus sur les grains (Delobel et Malonga, 1987).

L'insecte adulte est caractérisé par la présence d'un long rostre. Il peut atteindre 3 à 5 mm de long, et ne dépasse pas 1,2 mm de large. Suite au cannibalisme, lorsque plusieurs larves vermiformes sont présentes dans le même grain, il n'en émerge qu'un seul adulte (Delobel et Tran, 1993). L'adulte est de couleur brune à brune noirâtre avec quatre grosses taches orangées sur les élytres qui sont ponctuées et striées (Figure 1.1). Les stries élytrales sont grossièrement ponctuées et finement ponctuées. *Sitophilus zeamais* possède des ailes postérieures membraneuses et peut voler. La larve a la longueur de 2,5 à 3 mm, de forme subcirculaire, trapue, épaisse et très peu velue. La femelle a une fécondité de 300 à 450 œufs et une longévité de six à sept mois. Ses œufs sont teintés de blanc et de forme ovale.

1.3.3 Importance économique et agricole de *Sitophilus zeamais* Motsch.

L'insecte de l'espèce *Sitophilus zeamais* exerce une pression permanente sur les céréales ; cette menace est due à sa grande polyphagie et sa faculté d'adaptation à des régions climatiques variées (Gwinner *et al.*, 1996). L'adulte *S. zeamais* ne cause pas directement de grands dégâts sur le maïs au champ ni en stock ; les imagos mâles et femelles vivent des grains de pollen et de nectar (Alzouma *et al.*, 1996 ; Alzouma, 1990). Ce sont les stades juvéniles qui causent les ravages sur les stocks, consommant, avant le stade pupa une partie importante des réserves nutritives des cotylédons du grain du maïs. L'activité de consommation des réserves des grains par les larves provoque de la chaleur et de l'humidité qui engendrent le développement des champignons comme *Aspergillus sp.*, *Fusarium sp.*, *Penicilium sp.*, conduisant à des pertes quantitatives et qualitatives (Anonyme, 1980).

En zone rurale où les techniques de conservation des denrées agricoles sont peu élaborées, ce ravageur entraîne des pertes post-récoltes pouvant atteindre 100% en quelques mois (Kodio, 1989 ; Zehrer, 1981a). Les attaques des grains de maïs par *S. zeamais* entraînent non seulement une réduction de poids sec, mais également une diminution de la qualité des grains, de la viabilité des semences compromettant

leur consommation et leur semis (Munyuli *et al.*, 2007). Selon Philogène *et al.*, (1989) lorsque les dégâts excèdent un trou d'émergence par grain, la valeur marchande du maïs s'en trouve substantiellement réduite.



Figure 1.1 : *Sitophilus zeamais* Motschulsky.

(Source : Delobel et Tran, 1993)

1.3.4 Résistance des insectes ravageurs aux pesticides chimiques

La résistance des insectes aux pesticides chimiques est l'un des principaux méfaits de l'application répétée. De nombreux cas de résistance des insectes sont révélés partout. Actuellement, aucun des groupes parmi les organophosphorés, les pyréthrinoides n'échappe à la résistance des insectes. Bell *et al.* (1998) puis Benhalima *et al.* (2004) rapportent respectivement des souches de *Trogoderma granarium* (Everts) provenant du Burkina Faso et des populations de *Sitophilus zeamais* du Maroc ayant un fort degré de tolérance à la phosphine, produit réputé efficace et ne laissant pas de résidus toxiques. Les espèces du genre *Sitophilus* sont

parmi celles qui sont les plus citées dans la résistance aux pesticides chimiques (Schmutterer, 1992).

À cet égard, Athié *et al.* (1998) et Pimentel *et al.* (2009) expliquent la base physiologique de la résistance à la phosphine par la capacité de ces souches de *S. zeamais* de réduire leur taux de respiration et non par une exclusion active du gaz. Zettler *et al.* (2000) faisaient déjà état de la menace qui pèse sur l'utilisation de ces fumigants, raison pour laquelle ils évoquent l'intérêt de développer de nouvelles alternatives dans le cadre des programmes de lutte biologique intégrée. À ce sujet, plusieurs pistes sont proposées. Herron *et al.* (1996), se référant à des lieux de stockage où des grains traités ont été mélangés à des reliques de vieux grains infestés. Ainsi, les mesures d'hygiène, bien que n'ayant que peu d'effets directs, s'avèrent nécessaires pour ralentir le développement de la résistance. Mohandas *etal.* (2006) suggèrent l'hydroprène, un analogue de l'hormone juvénile présenté comme alternative aux insecticides conventionnels de par sa spécificité contre les formes immatures des insectes de stocks et une non-toxicité vis-à-vis des mammifères.

1.4 Différentes structures de stockage en paysannat

En Afrique, on note, selon Alzouma (2001) et Appert (1985a), une grande diversité de structures de stockage traditionnel en fonction:

- des conditions climatiques ;
- des structures des populations et de leurs héritages socioculturels ;
- de la nature et de la qualité des matériaux disponibles ;
- du type et de la nature des denrées à stocker (grains, graines, tubercules).

Selon Gwinner *et al.* (1996) ; Appert (1985a) et Piltz (1981), on distingue trois principales structures de stockage en milieu paysan : les systèmes de stockage ouvert, les systèmes de stockage fermé et les systèmes de stockage semi-ouvert en zones tropicales humide et aride.

1.4.1 Systèmes de stockage ouvert

On les rencontre partout et en particulier dans les régions chaude et humide. On pratique ce mode de stockage quand la denrée présente un taux d'humidité élevé au moment de la mise en stock. Il est temporaire en pays sahélien pour terminer le séchage. Les épis sont placés sur les toits ou sur une plateforme en bois dans les champs. On peut également trouver le système ouvert permanent dans les pays où l'humidité ambiante est élevée

1.4.2 Systèmes de stockage fermé

Dans les zones sèches sahéliennes, on utilise la plupart du temps pour le stockage du paddy, du maïs, du sorgho et du mil des contenaires de stockage fermés conçus à base d'argile malaxée et mélangée à de la paille hachée. Ces structures sont appelées «greniers en banco» (Alzouma, 2001). De forme ronde ou carrée, ces greniers reposent généralement sur des grosses pierres ou sur une plateforme en bois qui constitue la base du grenier. L'ouverture ménagée à la partie supérieure pour le remplissage et le vidage est recouverte d'un toit de chaume. Les greniers sont parfois divisés en plusieurs compartiments qui permettent ainsi de stocker plusieurs produits (Ravololonandrianina et Rabeatoandro, 1996 et Seck et Gaspar, 1992).

1.4.3 Systèmes de stockage semi-ouvert

Ces structures de stockage sont très répandues dans les régions semi-arides d'Afrique. Ce sont des greniers en pailles de graminées (tiges de *Pennisetum thyphoides* Burn. ou d'*Andropogon gayanus*) appelés seccos (Alzouma, 2001). Ils constituent une sorte de grand panier posé sur une plateforme en bois à quelques dizaines de centimètres (30-40 cm) du sol, et recouvert d'un toit de chaume. La récolte y est stockée en panicules, parfois pendant plusieurs années (Cruz et al., 1988). Ces systèmes de stockage assurent une meilleure protection des denrées contre les intempéries comparativement aux systèmes ouverts.

1.5 Différents facteurs d'altération des grains

Dans les zones tropicales humides et arides suite à des conditions climatiques favorables aux attaques des charançons, il existe plusieurs facteurs d'altération des grains des céréales, des graines des légumineuses et des cossettes de manioc en stockage, qui occasionnent des pertes importantes quantitatives et qualitatives aux agriculteurs (Appert, 1985b).

1.5.1 Facteurs biochimiques

Durant le stockage, les organismes vivants que sont les grains respirent. Cette activité provoque une perte de matière sèche ; la respiration des grains permet à l'amidon de produire du gaz carbonique, de l'eau (sous forme de vapeur) et de la chaleur. Ce phénomène est fréquemment observé dans les masses de grains stockées. Ainsi, cet environnement donne lieu à une forte variation de température, au développement de micro-organismes tels que les agents pathogènes et finalement à une prise en masse des grains. Outre l'activité métabolique des grains, la chaleur, la teneur en eau des grains ainsi que la date de récolte ont une influence sur le dégagement de chaleur. Il faut conserver le maïs à une température égale ou inférieure à 20° C. Les grains sont bien conservés à l'humidité de 70% (Zehrer, 1981a).

1.5.2 Agents biologiques de dégradation

Les principaux agents biologiques responsables de l'altération des grains au cours du stockage sont les insectes ravageurs, les microorganismes et les rongeurs.

1.5.2.1 Insectes déprédateurs des stocks

En zone tropicale, de très nombreuses espèces d'insectes s'attaquent aux denrées alimentaires stockées. Certaines sont spécifiques au stockage alors que d'autres peuvent infester le champ. Les principaux insectes déprédateurs des produits vivriers appartiennent à deux ordres :

- les coléoptères (*Sitophilus* spp, *Rhyzopertha* spp, *Prostephanus truncatus*, *Trogoderma granarium*, et *Tribolium* spp) possèdent des ailes membraneuses protégées par des «élytres». Ce qui les rend relativement résistants et leur permet de se déplacer dans une masse de grains (Gueye, 2008a et Sembene, 2000).
- les lépidoptères (*Sitotroga cerealella*, *Ephestia cautella* et *Plodia interpunctella*, *Oryzaephilus surinamensis*) possèdent deux paires d'ailes (à écailles) fragiles et n'infestent que la couche superficielle des masses de grains (Genest *etal.*, 1990 ; Delobel et Tran, 1993 ; Traore *etal.*, 1996).

Dans les stocks, les insectes occasionnent diverses catégories de pertes importantes en consommant l'albumen et parfois le germe des grains. Ce sont bien souvent les larves de certaines espèces vivant à l'intérieur des grains qui provoquent les dégâts les plus sensibles (Yamamoto *et al.*, 1975). Enfin, par leur activité biologique qui produit des déchets (fines farines), des dégagements de chaleur et de vapeur d'eau, les insectes créent un milieu propice au développement des micro-organismes pathogènes (Ilo - Wep, 1986).

1.5.2.2 Microorganismes pathogènes

Les microorganismes observés dans les stocks de céréales sont les bactéries et les champignons (levures et moisissures). Les limites inférieures moyennes de développement en fonction de l'humidité relative de l'air sont de 90% pour les bactéries, 85% pour les levures et 65 % pour les moisissures. En général, ce sont donc les moisissures (les genres *Aspergillus* et *Penicillium*) qui constituent la menace la plus fréquente en cours de stockage. Au cours de leur développement, elles produisent parfois des toxines qui rendent aussi les denrées impropres à la consommation humaine ou animale. Le cas le plus connu est celui de l'aflatoxine, une mycotoxine cancérigène produite par *Aspergillus flavus*.

1.5.2.3 Rongeurs

Les principaux rongeurs prédateurs des stocks sont le rat gris, le rat noir et la souris que l'on rencontre pratiquement sous tous les climats. Selon les régions,

les espèces locales de rongeurs peuvent également s'attaquer aux produits stockés. Les rongeurs occasionnent des pertes quantitatives en consommant les produits et des pertes qualitatives en souillant les denrées par leurs déjections. Ils provoquent également des dégâts au niveau des structures de stockage ou des emballages (Ilo - Wep, 1986). Pour lutter contre ces différents facteurs de dégradations des grains, plusieurs méthodes de lutte sont utilisées au niveau paysan.

1.6 Méthodes traditionnelles de protection des céréales

Face à l'ampleur des dégâts causés par les ordres des Coléoptères *Bruchidae* et *Curculionidae*, une panoplie de méthodes sont utilisées pour éradiquer le fléau ou maintenir le niveau des attaques à un seuil économiquement acceptable.

1.6.1 Utilisation des substances minérales

Plusieurs substances minérales sont ajoutées aux denrées stockées, notamment le sable fin, la poussière de terre glaise, la chaux vive, la cendre de bois (Alzouma, 2001 ; Dabiré, 1992). Les substances minérales provoquent chez les ravageurs, en particulier les insectes, des altérations de la cire protectrice. Elles remplissent les vides entre les grains et constituent une barrière à la progression des femelles cherchant à se reproduire ou à pondre les œufs. Ces matériaux fins auraient également un rôle abrasif sur les insectes et entraîneraient leur déshydratation. Ces produits, lorsqu'ils sont fins, se fixent dans les articulations des insectes et entravent leur mobilité, ils bloquent également leur respiration au niveau des stigmates (Cruz et *al.*, 1988). Ces substances entraînent des effets indésirables pour le consommateur, notamment une altération du goût de la denrée. Elle nécessite par ailleurs l'utilisation de la quantité importante de cendre, ce qui réduit son utilisation à des quantités de denrées de volume limité (Stoll, 2000 ; Zlotkin, 1999 et Schmutteer, 1990).

1.6.2 Utilisation des substances d'origine végétale

Un nombre de plantes ou parties de plantes (feuilles, rameaux, rhizome, bulbe, écorces et inflorescence) est utilisé par les paysans pour la protection de leurs récoltes durant le stockage (Schmutterer, 1987 ; Schmutterer et Ascher, 1987 ; Stoll, 1988). Les substances contenues dans ces plantes possèdent des modes d'action complexes qui ne se limitent pas à leurs simples propriétés physiques, chimiques et biochimiques (Simpson *et al.*, 1999). On leur connaît des effets insecticides, des effets paralysants sur la croissance et le développement des insectes ravageurs (Regnault-Roger, 2014 et Rodgers, 1993).

1.6.3 Exposition au soleil

L'exposition des denrées au rayonnement solaire intense réduit la teneur en eau de la graine ; ce qui permet d'éviter le développement des moisissures et réduit les populations des insectes. En effet, lorsque la teneur en eau des graines est très faible, les larves n'arrivent pas à s'y développer. Cette méthode favorise également le départ des insectes adultes qui ne supportent pas les fortes chaleurs ni la lumière intense, les insectes se cantonnent souvent dans les zones sombres. Le produit doit être disposé en couches minces de telle sorte que les formes cachées dans le grain soient atteintes (Cruz *etal.*, 1988).

1.6.4 Enfumage

Certaines denrées comme le maïs sont souvent stockées en épis au-dessus des foyers domestiques et sont ainsi enfumées presque en permanence. Cet enfumage ne tue pas les insectes mais les éloigne et empêche la réinfestation.

1.6.5 Conservation en atmosphère confinée

Cette technique est utilisée de façon traditionnelle dans certaines régions. Elle consiste à appauvrir en oxygène l'atmosphère inter granulaire jusqu'à un taux létal pour les insectes. L'obtention de structures étanches (silo enterré, bidon) est le principal obstacle à sa mise en œuvre (Cruz *et al.*, 1988).

1.6.6 Lutte chimique

L'utilisation d'insecticides chimiques de contact se développe de plus en plus, notamment des formulations en poudre ou liquide sont utilisées en post-récolte. Les insecticides les plus utilisés sont : les organophosphorés, les carbamates et les pyréthriinoïdes de synthèse.

1.7 Protection biologique

La conjugaison des pratiques empiriques et des premières observations scientifiques a conduit au développement de l'utilisation d'extraits végétaux, de formulations en poudre et d'huiles essentielles dès la fin XIX^{ème} siècle avec des succès plus ou moins marqués (Regnault-Roger *et al.*, 2012).

1.7.1 Génération des pesticides

Les premières générations de pesticides sont essentiellement le résultat de la pratique des produits facilement disponibles comme l'arsenic et ses dérivés, les huiles animales et les molécules allélochimiques issues des plantes à usage traditionnel. Les plantes médicinales et aromatiques (PMA) ont été particulièrement sollicitées à cause de leurs vertus thérapeutiques reconnues. Les substances phytosanitaires naturelles sont d'origine minérale, animale ou végétale.

Au 19^{ème} siècle, seuls quelques composés d'origine végétale sont identifiés et abondamment utilisés comme molécules allélochimiques végétales, parmi lesquels les alcaloïdes extraits des trois espèces de tabac : (*Nicotiana tabacum*, *Nicotiana rustica* et *Nicotiana glauca*). Une deuxième famille de *Fabaceae* est représentée par la roténone qui est aujourd'hui radiée et les roténoïdes, et une troisième famille de *Asteraceae* par les pyrèthrines (Regnault-Roger *et al.*, 2002).

1.7.1.1 Nicotine

L'introduction du tabac (*Nicotiana tabacum*) en Europe par Sir Walter Raleigh en 1585 a eu un impact considérable sur les habitudes et la santé des populations, mais aussi sur la façon dont on allait, depuis lors, combattre certains ravageurs des cultures et des produits de stock. A partir de 1690, des extraits aqueux de tabac ont été utilisés pour lutter contre les insectes piqueurs-suceurs des plantes vivrières. En 1828, le principe actif de la nicotine (un alcaloïde) était isolé par Posselt et Reimann cités par Matsumura, (1975) alors que Pictet et Rotschy cités Regnault-Roger *et al.*, (2008) et Van Leer, (2001) ont réussi la synthèse de cette molécule en 1904. La nicotine n'est plus utilisée comme produit phytosanitaire en agriculture.

Cet alcaloïde ($C_{10}H_{14}N_2$) très stable contient une grande toxicité sur les insectes. Il agit à la fois comme poison cardiaque et neurotrope. Seule la nicotine naturelle lévogyre possède des propriétés insecticides. Sa volatilité en fait un excellent insecticide par inhalation. Sa stabilisation sous forme de sels, sulfates, oléates ou stérates, le transforme en un insecticide par ingestion plus actif que l'alcaloïde seul (Regnault-Roger *et al.*, 2008).

1.7.1.2 Roténoïde et roténone

La roténoïde s'est révélée comme un composé phytosanitaire de plus haut intérêt. Depuis 1665, il a été observé que les populations autochtones d'Amérique latine se servaient des racines pulvérisées de certains légumes contre les ravageurs et, pour attraper les poissons d'eau douce. En 1848, ces extraits venaient de s'ajouter

aux préparations insecticides en usage agricole (Golob *et al.*, 1999). Leur principe actif, un dérivé flavonoïde, a été isolé par Geoffroy en 1895 cité par (Regnault-Roger *et al.*, 2008).

Retenons que la roténone est particulièrement attrayante car elle n'agit pas, à l'opposé de la nicotine et du pyrèthre, sur le système nerveux, mais plutôt sur les mécanismes de la respiration cellulaire. Administrée *per os*, elle est inoffensive pour les animaux à sang chaud. En revanche, elle est très active sur les animaux à sang froid : batraciens, poissons, reptiles (Lauwerrys, 1990). La roténoïde n'est plus utilisée comme produit phytosanitaire en protection des cultures et des produits de récoltes.

1.7.1.3 Pyrèthres

Les préparations végétales ont été utilisées pour se débarrasser des poux. Les pyrèthres sont isolés des plantes appartenant à la famille des *Astéraceae*. Les substances actives contre les insectes sont contenues dans les fleurs. Elles doivent leur activité insecticide au pyrèthre et un mélange d'esters : pyrèthrines I et II, cinérine I et II, et jasmoline I et II (Jacobson, 1989 et Isman, 2006).

Le pyrèthre agit en perturbant la conduction nerveuse par un ralentissement de la fermeture des canaux Na^+ au cours de la phase de reconstitution du potentiel d'action des neurones. En conséquence, l'insecte présente une hyperactivité suivie de convulsions. Chez les mammifères, on enregistre un trémor suivi de convulsions. Les symptômes de la toxicité du pyrèthre et des organochlorés sont similaires (Regnault-Roger et Philogène, 2005).

1.7.1.4 Huiles végétales

Les huiles végétales ont été utilisées très tôt dans l'agriculture contre les insectes sous forme d'émulsions. Ce sont à la fois des insecticides de contact qui agissent par leurs propriétés physicochimiques, et des adjuvants pour des molécules

liposolubles et, dans certains cas, des synergistes. Selon leur origine et leur composition chimique, on distingue les huiles minérales dérivées du pétrole (kérosène, huiles lubrifiantes et huiles blanches) d'une part, et d'autre part les huiles végétales ou animales (huiles d'arachide et d'olive, ou baleine et dauphin) (George, 2009).

Aujourd'hui, les huiles sont particulièrement utilisées aux Etats-Unis d'Amérique pour protéger des vergers, en particulier les pommeraies dont les ravageurs *Dysopnis plantaginica* (Passerini) et *Panonychus ulmi* (Koch) sont devenus résistants aux organophosphorés, carbamates et pyréthrinoides (Regnault-Roger, 2014).

1.7.1.5 Bio-pesticides d'origine végétale

Le bio-pesticide est-il une réponse globale, appropriée, compétitive et alternative aux pesticides conventionnels ? Les conséquences toxicologiques et écotoxicologiques des effets non intentionnels provoqués par une utilisation incorrecte des pesticides conventionnels ont suscité un regain d'intérêt pour des stratégies phytosanitaires alternatives. Les progrès accomplis dans l'analyse et la détection des molécules biologiques ont permis de mieux cerner le rôle des molécules allélochimiques végétales comme facteurs de protection des plantes et des produits de récolte. Dans le domaine des médiateurs chimiques impliqués dans les relations entre les espèces ainsi que dans celui des mécanismes biochimiques cellulaires de résistance des plantes à l'agression d'un organisme exogène parasite et prédateur sont des moyens de protection des cultures. Ces nouvelles connaissances ouvrent aujourd'hui plusieurs perspectives pour l'utilisation des molécules d'origine végétale dans le domaine phytosanitaire. L'utilisation des substances naturelles d'origine minérale, animale et végétale dans la protection des cultures et produits de récolte est considérée comme la troisième génération de pesticides (Sulehrie *et al.*, 2003 ; Regnault-Roger *et al.*, 2002).

Les molécules allélochimiques végétales sont préconisées pour un meilleur respect des biocénoses et de l'environnement. Les bio-pesticides présentent plusieurs

avantages écologiques et environnementaux : biodégradabilité, sélectivité, spécificité de leur activité et diminution des effets non intentionnels sur les espèces non ciblées. Avec des effets sanitaires entraînant réduction des résistances des insectes aux produits phytosanitaires, non persistants, sans bioaccumulation, sans amplification biologique et ni mobilité nuisible dans l'environnement (Golob *et al.*, 1999 et Raven *et al.*, 2009).

Aujourd'hui, il existe différentes catégories de bio-pesticides qui sont groupées en trois classes majeures :

- les pesticides microbiens dont la substance active est un microorganisme (bactéries, champignons, etc.) ;
- les composés protecteurs des plantes, qui sont des substances pesticides produites par les plantes (molécules allélochimiques végétales) ;
- les pesticides biochimiques qui sont des substances naturelles et qui contrôlent les bio-agresseurs par les mécanismes non toxiques comme les phéromones.

La flore tropicale a développé un arsenal plus diversifié de composés allélochimiques face à un nombre de phytophages plus important. A l'aide de bio-essais simples, les chercheurs ont réussi à isoler et identifier un grand nombre de composés bioactifs : terpénoïdes, stéroïdes, substances polyphénoliques, huiles essentielles, alcaloïdes et composés azotés et soufrés. C'est très rapidement que le potentiel phytopharmaceutique des composés sémiochimiques fut exploré. En effet, à la découverte de nouvelles molécules végétales pouvant être exploitées pour le contrôle des ravageurs et parasites s'ajoute une approche phytosanitaire présentant moins de risques toxiques et de dangers sanitaires (Regnault-Roger, 2005).

1.7.1.6 Utilisation des extraits végétaux pour la protection des stocks

Les extraits des plantes sont utilisés en Inde depuis plus de 7000 ans, en Chine 4500 ans, en Egypte entre 3.000 et 2.000 ans avant notre ère. Aujourd'hui encore, plusieurs paysans utilisent leurs connaissances et leur savoir-faire endogène dans ce domaine de la protection phytosanitaire (Regnault- Roger, 2014). Selon

Vincent *et al.*, (2007) ; Regnault- Roger *et al.*, (1993) ; Raponda-Walker et Sillans, (1985) ; Anonyme (1980), un nombre important de plantes phytopharmaceutiques est utilisé comme moyens locaux de protection des stocks. Les paysans les utilisent à l'état naturel, en phase aqueuse ou huileuse, en infusion et même sous forme de cendre, de fumée, afin de mettre à profit les activités de phytoprotection vis-à-vis des ravageurs phytophages et des agents phytopathogènes.

Plusieurs nombreux chercheurs et scientifiques sont à la recherche des insecticides efficaces, durables, biodégradables, doux, inoffensifs aux animaux à sang chaud et respectueux de l'environnement. C'est pour cela que de nombreux travaux ont été réalisés pour contrôler les insectes ravageurs et les maladies des céréales et des légumineuses, notamment en zone tropicale aride et humide. D'après Kéita *et al.*, (1999) ; Regnault-Roger, (1999) ; Pamplona-Roger, (2000), plus de 1.000 plantes recensées aujourd'hui ont des propriétés allant de la dissuasion à la répulsion avec association de l'anti-appétence ou la létalité contre les ennemis des cultures et des stocks. Aujourd'hui, l'utilisation des extraits végétaux comme insecticide est devenue une piste d'avenir et à intérêt scientifique, environnemental et pratique dans le domaine de la phytoprotection (Appert, 1985a ; Zehrer, 1981b ; Regnault-Roger, 2005 et Vowotor *et al.*, 2005).

L'une des plantes qui a fait l'objet d'un nombre important d'études scientifiques, techniques et technologiques, c'est le neem (*Azadirachta indica* A. Juss). C'est l'une des principales sources d'insecticides botaniques de nos jours. Selon Schmutterer *et al.* (2002), le neem joue un rôle de régulateur de croissance et de modificateur de comportement chez certaines espèces d'insectes nuisibles. Les extraits du neem ont un large spectre d'activité, une dégradation facile dans l'environnement et une sélectivité élevée favorisant les ennemis naturels et les pollinisateurs (Regnault – Roger *et al.*, 2008).

L'évolution a doté les organismes biologiques de médiateurs chimiques et de molécules sémiochimiques impliqués dans les communications entre les organismes vivants et présentant une grande variété d'actions interspécifique (individus de même espèce) et intraspécifique (individus d'espèces différentes).

Parmi ces composés, ont été identifiées beaucoup de molécules végétales qui ont une action défensive du végétal contre les agents pathogènes et les bios agresseurs.

1.8 Résistance de la plante hôte

La résistance de la plante hôte comme méthode de protection offre aux cultivateurs les avantages de ne pas utiliser assez de connaissances ni assez d'argent comparativement aux méthodes qui sont chères et dangereuses pour le cas de la lutte chimique et complexe ainsi que celui de la lutte biologique (Ashamo, 2006). Cette méthode là consiste à utiliser des variétés ou clones sélectionnés ou améliorés pour leur bon comportement en dépit de la prolifération de l'ennemi sur la culture. La sélection des plantes résistantes nécessite la possibilité des gènes de résistance et des gènes de résistance spécifique. Les gènes de résistance peuvent être obtenus à partir des sources diverses (Mumba, 2016).

La résistance de la plante hôte fait partie des stratégies de lutte contre les insectes nuisibles et agents pathogènes depuis le 18^{ième} siècle (Ivbijaro, 1980 ; Philogène, 1984 ; Betanzos, 1988 et Aboubakry, 2010). La recherche des variétés résistantes de maïs constitue depuis un certain temps une voie de protection des stocks contre les insectes. Malgré ces avantages consistant à cultiver les plantes résistantes contre les ravageurs, il subsiste toujours un problème le plus important : en effet, si le niveau de résistance est élevé, cela conduit au développement de nouveaux biotypes d'insecte. Il est à remarquer que la résistance des plantes hôtes ne s'exprime pas de la même manière dans tous les écosystèmes des plantes (Kumar, 2002).

1.9 Protection intégrée

La lutte intégrée est une méthode de protection phytosanitaire contre les organismes nuisibles et qui utilise un ensemble de méthodes (méthodes culturales, lutte biologique, lutte chimique...) satisfaisant à des exigences à la fois économiques, écologiques et toxicologiques (Onautshu, 2013). Elle consiste à suivre l'évolution des insectes nuisibles et leurs prédateurs naturels, à décider d'un seuil d'action à de

choisir parmi tous les moyens d'intervention disponibles ceux qui s'avèrent les mieux adaptés.

La protection à action synergique des composés d'origine végétale dans le cadre de *Sitophilus zeamais* peut être envisagée en combinant les notions de la résistance des plantes hôtes (variétés des grains de maïs) comme évoqué précédemment par Munyuli *et al.* (2009) avec la lutte bioinsecticide d'origine végétale à l'instar de celle initiée par (Ndju Essaho *et al.*, 2017b, Kolama *et al.*, 2008). La lutte biologique qui prend beaucoup plus de temps pourra être étudiée par la suite pour être intégrée à la lutte chimique et à la méthode prophylactique. Sur la page qui suit, voici les figures prises aux entrepôts et aux lieux de vente des grains de maïs pendant les enquêtes ethnobotaniques.

Figures des entrepôts des grains de maïs dans les provinces de Kinshasa et du Kongo Central (Source : Ndju Essaho, 2013)



Figures 1.2 : Transport des sacs de maïs**Figures 1.3 : Triage des débris et insectes**



Figures 1.4 : Dommages occasionnés**Figures 1.5 : Pertes socioéconomiques**

Chapitre deuxième

Enquête ethnobotanique des plantes à potentiels pesticides en gestion des insectes ravageurs de stock du maïs

Ce chapitre est consacré à l'enquête ethnobotanique sur la connaissance des plantes à effets insecticides et leur pratique en protection des maïs comme solution alternative. La question de la recherche était de connaître si les plantes à action insecticide et le savoir-faire local des agriculteurs pourraient avoir un impact positif sur la réduction des attaques d'insectes ravageurs du maïs en stockage dans les provinces de Kinshasa et du Kongo Central. Les informations obtenues seraient une contribution pour la lutte biologique à base des molécules allélochimiques végétales.

2.1 Résumé

L'enquête ethnobotanique a permis d'inventorier les plantes ayant les activités bios insecticides, leurs modes de préparations, d'applications et le site d'action/effets ainsi que le savoir-faire local. Quant aux dégâts causés par l'espèce *Sitophilus zeamais* Motschulsky., 63,1% de répondants ont reconnu les diverses catégories de pertes. L'analyse statistique Chi-carré indique manifestement qu'il existe une différence hautement significative entre les avis enregistrés. Les types de pertes connus ne diffèrent pas statistiquement selon les provinces, mais elles sont statistiquement significatives selon le genre (sexe). Les avis sur les moyens de lutte utilisés étaient aussi statistiquement significatifs par les personnes interviewées. Les réponses des répondants diffèrent significativement selon les provinces et le genre.

La différence des réponses entre les attaques des insectes ravageurs observées au champ et en conservation est hautement significative après le calcul d'analyse statistique. Enfin, les avis sur le début des attaques de *Sitophilus zeamais* Motschulsky. ne varient pas statistiquement selon les provinces, tandis qu'ils diffèrent significativement entre les hommes et les femmes. Il existe une différence hautement significative entre la distribution des fréquences observées et théoriques dans l'utilisation des différentes parties d'organes végétaux.

Les avis sur les difficultés rencontrées diffèrent significativement selon les provinces d'origine. A Kinshasa, on signale surtout le manque d'infrastructures, alors qu'au Kongo Central, c'est le manque d'encadrement technique qui est plus mis en exergue. Les avis sont aussi partagés selon le genre (sexe) : les hommes signalent le manque d'encadrement technique alors que les femmes ont en majorité déploré le manque d'infrastructures.

Mots clés : plantes à effets insecticides, enquête ethnobotanique, grains de maïs, protection phytosanitaire.

2.2 Introduction

La réalisation d'une enquête ethnobotanique sur les pratiques traditionnelles d'utilisation des plantes présumées insecticides contre les insectes phytophages est une des démarches les plus simples à adopter pour répertorier les espèces végétales, sources potentielles de pesticides phytochimiques. Les plantes insecticides sont des moyens de protection très anciens. Les agriculteurs ont recouru depuis très longtemps aux adjonctions des substances naturelles d'origine minérale, végétale et animale pour conserver les denrées alimentaires. Arnason *et al.* (2002) et Golod et Weley (1980) ont souligné la pérennité de ces méthodes pratiquées dans les milieux ruraux africains.

Les observations sur terrain ont dégagé les activités biologiques de *Lantana camara* L., de *Chromolaena odorata* L. (Djidonou, 2000) et d'*Azadirachta indica* A. Juss. (Schmutterer, 1990) et *Tetradenia riparia* contre les insectes des grains (Dunkelet *al.*, 1990 et Kéita *et al.*, 1999). Ces observations doivent être accompagnées d'une enquête ethnobotanique qui fournira entre autres des informations socio-ethnologiques indispensables à la compréhension des conditions spécifiques de leur efficacité :

- l'état morphologique du végétal utilisé comme protecteur : son aspect et son état physique, son odeur, sa maturité au moment de la récolte, les conditions dans lesquelles il s'est développé ;
- les denrées que l'on veut protéger et les insectes visés : en effet, l'expérience démontre que les résultats obtenus avec un insecte ne sont pas forcément reproductibles avec une autre espèce du même genre ou de la même famille ;
- les conditions dans lesquelles s'effectue cette protection : espace ouvert, semi-ouvert ou fermé, température, hygrométrie, photopériode ;
- enfin, le type d'activité exercée par le végétal protecteur : effet insecticide, effet knock-down, effet répulsif, effet antiappétant, etc.

L'étape suivante consiste à vérifier dans le laboratoire si ces pratiques empiriques ont un fondement scientifique et rationnel. Il convient, dès lors, de choisir

un modèle expérimental et de définir les matériels et méthodes pour les expériences à réaliser en fonction des objectifs fixés.

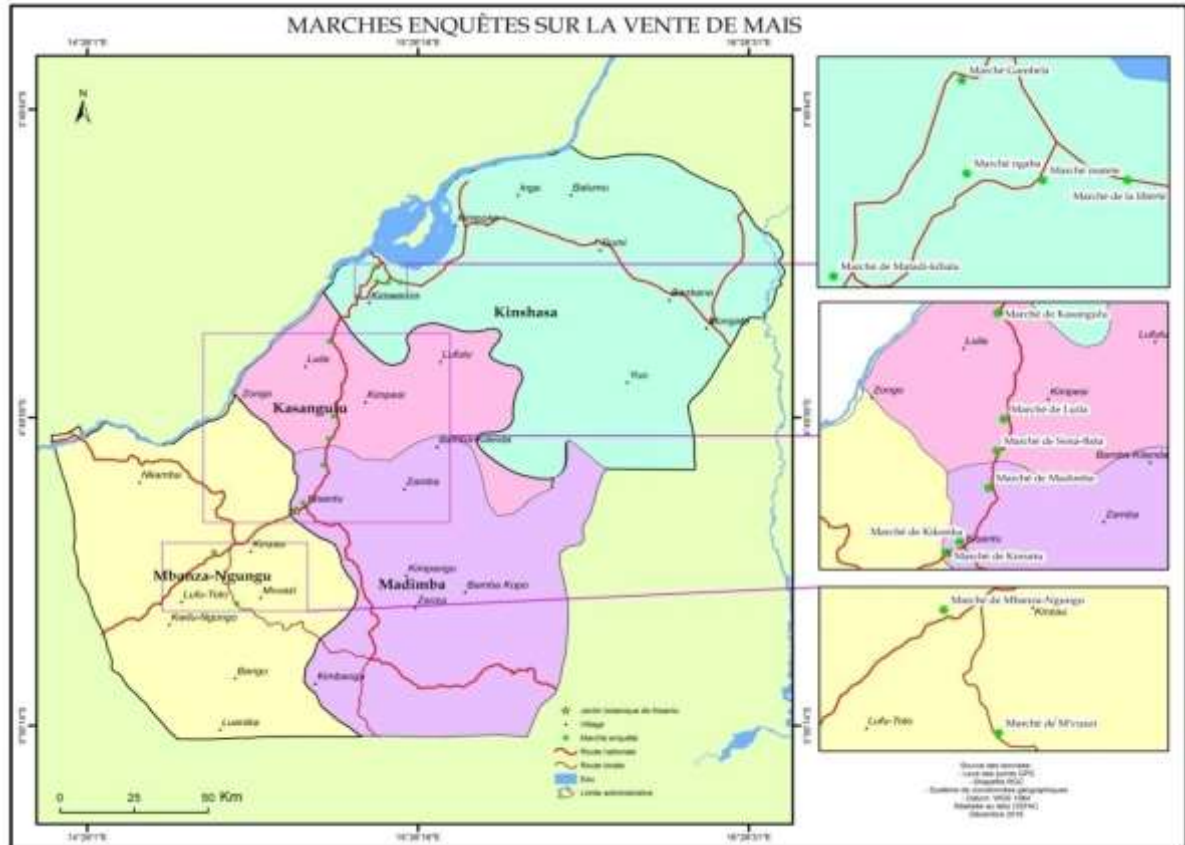
2.3 Milieu d'étude

Les enquêtes ont été menées dans certains marchés de Kinshasa qui disposent des entrepôts de maïs et la partie Nord de la province du Kongo Central, principalement dans les localités situées le long de la route de Matadi jusqu'à M'vuazi en passant par Kasangulu, Madimba, Kisantu et Mbanza Ngungu. Les expéditions ont été organisées de manière séquentielle pendant quatre mois. La carte géographique ci-après contient les différents sites explorés lors des enquêtes ethnobotaniques.

Les différents axes enquêtés se présentent comme suit :

- **Axe 1** : La zone Nord de Kinshasa regroupe les communes de Kinshasa, de Kasa-Vubu, de Kalamu et de Ngiri-Ngiri et les principaux marchés enquêtés sont : Pont NGabi, Gambela et de Ngiri-Ngiri ;
- **Axe 2** : La zone Est et du centre concernent les communes de Matete, de Masina et de Ngaba et les principaux marchés visités sont : Liberté, Matete et Rond-point Ngaba ;
- **Axe 3** : La zone Sud de Kinshasa comprend la commune de Mont-Ngafula et le principal marché visité est celui marché de Matadi Kibala ;
- **Axe 4** : L'enquête s'est effectuée dans le Kongo Central ; il s'agit de l'Ex - District de la Lukaya englobant le territoire de Kasangulu avec ses marchés de Kasangulu et Sona-Bata et le Territoire de Madimba avec ses marchés de Madimba, de Kikonka et Nkandu ;
- **Axe 5** : Toujours dans le Kongo Central, l'enquête a eu lieu à l'Ex - District des Cataractes, notamment le Territoire de Mbanza-Ngungu. Là, nous avons enquêté dans le marché Central de Mbanza-Ngungu et de M'vuazi

La carte 2.1 ci-dessous indique les grands axes des expéditions et des sites visités pour des enquêtes ethnobotaniques



Echelle : 1/3000.000

Figure 2.1 Carte indiquant les sites des enquêtes ethnobotaniques (Ndju Essaho, 2015)

2.4 Matériel et méthodes

Dans la partie qui suit, sont mis en exergue le matériel et la méthodologie adaptés pour la structuration de ce chapitre.

2.4.1 Matériel

Le matériel essentiel dont nous nous sommes servis pour mener l'enquête comprend un questionnaire composé d'un ensemble de questions limitées, structurées et standardisées. Son but est d'obtenir des informations qui élucident les façons locales et traditionnelles dont sont utilisées les plantes aromatiques, médicinales, et condimentaires à effets insecticides. Les figures des plantes thérapeutiques alimentaires à effet insecticide retenues après les enquêtes ethnobotaniques sont placées à la fin de ce chapitre.

Le questionnaire distribué au hasard comporte deux parties. La première partie portait sur l'identité du répondant, son genre, son niveau d'instruction, la durée dans le métier. La deuxième partie tourne autour de trois éléments suivants : (1) la problématique du stockage des grains de maïs, (2) les moyens de protection utilisés, et (3) les méthodes d'une bonne protection biologique des denrées alimentaires.

2.4.2 Méthodes

A partir des sondages et de la documentation bibliographique, les études se sont poursuivies avec l'identification ainsi que la description des espèces au jardin botanique de Kisantu et dans diverses bibliothèques de la ville de Kinshasa. En plus, nous avons confronté les informations obtenues sur le terrain avec celles de la littérature scientifique des laboratoires, notamment de Botanique Systématique & d'Ecologie Végétale du Département de Biologie et de Systématique & Biodiversité du Département de l'Environnement ainsi qu'à l'Herbarium de l'INERA de l'Université de Kinshasa.

Les enquêtes ont été menées par nous-même et par des personnes interposées. Nous nous sommes aussi intéressé à l'association des vendeurs des produits agricoles à Kinshasa (AVEPAK) pour vérifier, fiabiliser et valider les résultats. Toutefois, la programmation et la planification des expéditions étaient faites en fonction des moyens disponibles pour faciliter les déplacements, acheter les provisions et pour nous doter du matériel de travail nécessaire.

2.4.2.1 Déroulement de l'enquête ethnobotanique

Lors de la phase pré-enquête, des entretiens avec les acteurs de la filière maïs tels que les exploitants agricoles, les commerçants, les dépositaires à certaines communes de Kinshasa et dans le Kongo Central ont été entrepris. Cette phase nous a permis de recenser les contraintes auxquelles sont confrontés les vendeurs et les dépositaires de maïs et d'identifier leur perception des moyens de lutte contre les insectes ravageurs. L'interview et la revue documentaire nous ont offert la possibilité d'enrichir certains aspects de notre enquête.

Les enquêtes relatives à la collecte des données sur les problèmes liés au stockage nous ont permis d'interviewer au total 336 vendeurs et responsables des entrepôts sur un échantillon de 500 individus dans les sites ciblés qui étaient répartis en cinq axes. L'échantillonnage des exploitants agricoles enquêtés était effectué de façon aléatoire en tenant compte du nombre des sites recensés et de l'effectif des vendeurs et des dépositaires de maïs.

2.4.2.2 Organisation des rencontres

Dans chaque site, les exploitants agricoles ou les informateurs de différentes catégories socioprofessionnelles ont l'objet de l'enquête.

2.4.2.3 Modalités d'enquête et techniques de collecte des données

C'est la méthode par sondage qui est utilisée. Celle-ci a été jugée appropriée en l'absence des données disponibles. La principale technique utilisée, était l'interview directe sur base d'un questionnaire. Un plan élaboré sur la méthode de sondage a essentiellement pour but de porter un jugement sur un ensemble ou un univers à partir de l'examen d'un échantillon. Le plan de sondage n'était jugé acceptable que si les conditions suivantes étaient réunies :

- être possible de déterminer les erreurs dont peuvent être entachées les estimations basées sur le sondage ;
- être capable de fournir le maximum d'informations au coût minimum ;
- être pratique dans son application.

Ainsi en tenant compte de ces diverses considérations, nous avons opéré un choix raisonné et réfléchi après la stratification de l'univers statistique (Kankonde et Tollens, 2001 ; Bell et Watters, 1982).

Le sondage des exploitants agricoles a été constitué de façon aléatoire en tenant compte du nombre des sites recensés et de l'effectif des personnes (les vendeurs et les dépositaires de maïs) (Gueye et Delobel, 1999 ; Gueye, 2000 et Mucchielli, 1979 ; Shomba et Tshund'Alela, 2003, Ngongo, 2007). Après avoir choisi les enquêtés, nous avons recouru à quatre techniques :

- l'observation directe ;
- l'interview directe ;
- la méthode documentaire ;
- la méthode statistique (test de Chi-carré).

A) Observation directe

Cette observation a consisté à entrer en contact direct avec les agriculteurs, vendeurs et dépositaires pour répertorier les espèces botaniques utilisées pour la conservation des grains et/ou des épis. Nous avons aussi analysé d'une part les techniques utilisées pour la protection des cultures et des produits récoltés et, d'autre part, les résultats obtenus.

B) Interview directe

Cette technique consistait à poser des questions pour mieux appréhender les moyens de protection phytosanitaires et l'insecticide végétal utilisé pour combattre

les ennemis des produits post-récoltes, ainsi que les contraintes liées au stockage (voir annexe).

C) Méthode documentaire

Cette méthode met en présence le chercheur d'une part en connexion internet et d'autre part les documents en dur supposés contenir les informations scientifiques recherchées. Les différentes bibliothèques de Kinshasa ont été visitées à cette occasion.

D) Méthodes statistiques : Chi-carré

Dans un test du χ^2 , la décision finale repose toujours sur une évaluation des écarts entre les fréquences d'occurrences (pourcentages) observées à l'intérieur d'un échantillon aléatoire et les fréquences d'occurrences (pourcentages) théoriques espérées qui devraient idéalement être observées si l'hypothèse soumise au test était vraie.

2.5 Résultats

Nous présentons dans les tableaux qui suivent les différents résultats obtenus lors des enquêtes ethnobotaniques après leurs dépouillements successifs.

2.5.1 Plantes insecticides dans la protection des maïs

Les plantes présumées insecticides utilisées pour pouvoir gérer les attaques de charançons sont consignées dans le tableau 2.1

Tableau 2.1 Plantes à effets insecticides pour lutter contre *Sitophilus zeamais*

Espèces des plantes	Familles	Noms vernaculaires (Kikongo)	Effectif : 0 - 30	Pourcentage
<i>Annona senegalensis</i> Pers.	<i>Annonaceae</i>	Kilolo	20	6
<i>Capsicum frutescens</i> L.	<i>Solanaceae</i>	Ndungu	22	6,5
<i>Cymbopogon citratus</i> (DC.) Stapf	<i>Poaceae</i>	Sinda	32	9,5
<i>Lantana camara</i> L.	<i>Limniaceae</i> (<i>Verbenaceae</i>)	Landani	24	7
<i>Ocimum gratissimum</i> L.	<i>Limniaceae</i>	Dilulu	20	6
<i>Tetradenia riparia</i> L.	<i>Limniaceae</i>	Mutuzo	30	9
<i>Tithonia diversifolia</i> (Hemsl.) A.Gray	<i>Asteraceae</i>	Munkadinkadi	20	6
<i>Vernonia amygdalina</i> Del.	<i>Asteraceae</i>	Makarikari	27	8
<i>Mucuna pruriens</i> (L.) DC.	<i>Fabaceae/Faboideae</i>	Mankundi	3	1
<i>Moringa oleifera</i> Lam.	<i>Moringaceae</i>	Introduite	13	4
<i>Carica papaya</i> L.	<i>Caricaceae</i>	Dipapayi	17	5
<i>Desmodium velutinum</i> (Willd.) DC	<i>Fabaceae/Faboideae</i>	Dintata	10	3
<i>Eucalyptus citriodora</i> L.	<i>Myrtaceae</i>	Kalatusa	12	3,5
<i>Zingiber officinale</i> Roscoe	<i>Zingiberaceae</i>	Tangawusi	10	3
<i>Eriosema psoraleoides</i> (Lam.) G.Don	<i>Fabaceae/Faboideae</i>	Kiwanduki nseke	15	4,5
<i>Ricinus communis</i> L.	<i>Euphorbiaceae</i>	Mpuluko	0	0
<i>Tagetes minuta</i> L.	<i>Asteraceae</i>	Introduite	7	2
<i>Tephrosia vogelii</i> Hook.f.	<i>Fabaceae/Faboideae</i>	Bwalu, mbaka	20	6
<i>Xylopia aethiopica</i> (Dunal) A.Rich.	<i>Annonaceae</i>	Nsombo	3	1
<i>Nicotiana tabacum</i> L.	<i>Solanaceae</i>	Fumu	24	7
<i>Agave americana</i> L.	<i>Agavaceae</i>	Introduite	0	0
<i>Maesa lanceolata</i> Forssk.	<i>Myrsinaceae</i>	N'tidi	7	2
<i>Piper guineensis</i> Schumacher et Thonn.	<i>Piperaceae</i>	Kapidi	0	0
Total			336	100

Au regard des résultats regroupés dans ce tableau, on observe les espèces à vertus insecticides à fréquence d'utilisation élevée entre (0 à 9,5% des répondants). Il s'agit de *Nicotiana tabacum*L., *Tephrosia vogelii* Hook., *Ocimum gratissimum*L., *Vernonia amygdalina*Del., *Tetradeniariparia*L., *Annona senegalensis*Pers., *Tithonia diversifolia*Hemsl., *Lantana camara*L., *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf et *Capsicum frutescens*L. Le reste de la fréquence est faible et oscille entre 1 à 5 % (*Maesalanceolata*Forssk., *Xylopias aethiopica*(Donal) A.Rich., *Tagetes minuta* L., *Eriosema psoraleoides*(Lam.)G.Don, *Mucuna pruriens*(L.)DC., *Moringa oleifera*Lam., *Carica papaya*L., *Eucalyptus* spp et *Desmodium velutinum* (Willd) DC). D'autres espèces telles que *Piper guineensis* Schumacher et Thonn., *Agave americana* L. et *Ricinus communis* L., n'ont pratiquement pas été citées, bien qu'elles figurent parmi les espèces végétales ayant des effets insecticides et insectifuges. La famille de *Limnaceae*, *Asteraceae*, *Fabaceae*, *Solanaceae*, contient le nombre d'espèces végétales à action insecticide plus utilisée et supérieures à 10% ; vient ensuite les familles avec des plantes qui, dans l'ensemble font moins de 9%.

2.5.2 Plantes à effets insecticides

Sur 23 espèces citées par les enquêtés, les huit plantes sélectionnées et retenues compte tenu de leur représentativité, de leur proximité et de leur utilisation usuelle et aisée sont reprises dans le tableau 2.2.

Tableau 2.2 Plantes présumées insecticides retenues

N°	Familles	Noms scientifiques	Propriétés	Noms vernaculaires
1	<i>Annonaceae</i>	<i>Annona senegalensis</i> Pers.	Insectifuge et insecticide	Kilolo en Kikongo
2	<i>Asteraceae</i>	<i>Vernonia amygdalina</i> Del.	Insecticide et insectifuge	Munkadinkadi en Kikongo, Nlulunlulu en Kintandu
		<i>Tithonia diversifolia</i> (Hemsl)	Insecticide et insectifuge	Munkadinkadi en Kikongo
3	<i>Lamiaceae</i>	<i>Tetradenia riparia</i> L.	Insecticides et Insectifuges	Mutuzo en Swahili
		<i>Ocimum gratissimum</i> L.	Insecticides et Insectifuges	Dinsunsu en Kikongo
4	<i>Poaceae</i>	<i>Cymbopogon citratus</i> DC.	Insectifuge et insecticide	Sinda, sindadi mputu en Kikongo
5	<i>Solanaceae</i>	<i>Capsicum frutescens</i> L.	Insectifuges et insecticides	Ndunguzintendi en Kikongo
6	<i>Verbenaceae</i>	<i>Lantana camara</i> L.	Insecticides et bactéricides	Landani en Kikongo

Le tableau 2.2 donne la liste de huit espèces végétales recensées : leurs noms scientifiques, leurs familles, leurs modes d’actions ainsi que leurs noms vernaculaires. Parmi les plantes retenues, on compte 8 espèces réparties en 6 familles. Les familles d’*Asteraceae* et *Lamiaceae* ont chacune 2 espèces tandis que les familles restantes sont représentées chacune par une espèce.

2.5.3 Répartition des enquêtés et leur site

Le tableau 2.3 présente les marchés visités et la répartition des enquêtés selon le lieu d'étude et le sexe (genre).

Tableau 2.3 Répartition des interlocuteurs par provinces, marchés et genre

Provinces	Marchés	Hommes	Femmes	Total
Ville-province de Kinshasa	Pont Kabi	12	15	27
	Gambela	11	17	28
	Bayaka	10	13	23
	Liberté	17	14	31
	Matete	8	12	20
	Rond-point Ngaba	10	15	25
	Matadi Kibala	12	16	28
Kongo-Central	Kasangulu	10	15	25
	Sona-Bata	11	13	24
	Madimba	14	12	26
	Kikonka et Kisantu	15	14	29
	Cité de Mbanza-Ngungu	14	16	30
	Cité de M'vuazi	13	7	20
Total		157	179	336
Pourcentage		46,73	53,27	100

Le tableau 2.3 indique le nombre d'interrogés. Sur 100% de personnes enquêtées, les hommes représentent 46,73% et les femmes 53,27%.

2.5.4 Période d'infestation

Les résultats des enquêtes sur le début des attaques de *Sitophilus zeamais* Motschulsky, sont repris dans le tableau 2.4.

Tableau 2.4 Fréquences d'attaques de maïs égrenés

Début des dégâts	Effectif	Pourcentage
Avant l'achat (en plein champ)	84	25
Pendant la conservation	252	75
Total	336	100

Il ressort de ce tableau que 75% d'enquêtés signalent que la contamination des grains de maïs se fait pendant la conservation, et 25% estiment que le début d'attaques intervient en plein champ. La distribution des réponses des enquêtés au début d'attaque diffère significativement d'une distribution uniforme. L'attaque en plein champ est inférieure à l'attaque en conservation, et la différence est hautement significative. Les dégâts sont surtout causés en période de conservation des maïs avec des différents types de pertes. Les femmes sont les plus nombreuses à avoir signalé les attaques des maïs en plein champ, tandis que les hommes ont majoritairement affirmé les attaques au stockage.

2.5.5 Evaluation des dégâts occasionnés

Les résultats du dépouillement des dégâts causés par le charançon du maïs après enquête sont consignés dans le tableau 2.8.

Tableau 2.5 Dégâts causés par le charançon

Evolution des dégâts	Effectif	Pourcentage
Très importants 56 à 75 %	212	63
Importants 26 à 55 %	117	35
Moins importants 0 à 25 %	7	2
Total	336	100

Il se dégage ce qui suit de la lecture des résultats repris au tableau 2.8 : 63% d'enquêtés admettent de très importants dégâts et pertes ; 35% considèrent que les dégâts dûs aux ravageurs importants contre 2% qui les minimisent. La majorité des enquêtés soutiennent que l'ampleur des dégâts est très importante. Les avis des enquêtés sur l'ampleur des dégâts ne diffèrent pas significativement selon leur appartenance provinciale (Kinshasa et Kongo Central). Les hommes estiment que les dégâts occasionnés par les insectes sur les maïs stockés sont importants, tandis que les femmes les qualifient de très importants.

2.5.6 Moyens de contrôle d'insectes ravageurs

Les différents moyens de lutte utilisés pour la gestion de *Sitophiluszeamais* sont regroupés dans le tableau 2.9

Tableau 2.6 Moyens de protection des grains de maïs

Moyens de protection	Effectif	Pourcentage
Insecticides chimiques	13	4
Insecticides naturels d'origine végétale	122	36
Exposition au soleil, enfumage et tamisage	201	60
Total	336	100

L'on constate à la lecture des résultats consignés dans le tableau ci-dessus que la majorité des exploitants agricoles interrogés soit 60%, protègent leurs produits de récolte par l'exposition au soleil et le tamisage ; 36% recourent aux insecticides naturels d'origine végétale, enfin 4% utilisent les insecticides chimiques.

Donc, pour l'utilisation des moyens de lutte, il est admis que la majorité des personnes enquêtées pratique surtout l'exposition au soleil et le tamisage des grains de maïs, suivis immédiatement de l'utilisation des bioinsecticides d'origine végétale pour l'application des moyens de lutte chimiques. Les avis des enquêtés sur les moyens de gestion du ravageur diffèrent statistiquement en fonction de leurs provinces d'origine. De la même manière, les avis sont variables suivant le sexe (genre). Les femmes utilisent plus les bioinsecticides d'origine végétale comme moyen de protection, alors que les hommes exposent les grains de maïs au soleil, pratiquent l'enfumage et font le tamisage.

2.5.7 Organes utilisés pour la protection du maïs

Les différentes parties de la plante utilisées dans la conservation des grains de maïs contre *Sitophiluszeamais* Motschulsky.

Tableau 2.7 Organes utilisés pour le traitement

Organes utilisés	Effectif	Pourcentage
Feuilles	134	39,88
Ecorces caulinaires	27	8,04
Ecorces racinaires	20	5,95
Fruits	64	19,05
Inflorescences (Fleurs)	13	3,87
Plantes entières (tous les organes)	78	23,21
Total	336	100

L'examen des résultats de ce tableau relève que 43% d'enquêtés utilisent les feuilles, 23,21% appliquent la plante entière, 19% traitent les fruits, 8,04% les écorces caulinaires, 5,95% les écorces racinaires et 3,87% les inflorescences.

L'analyse des résultats à l'aide du Chi-carré dévoile l'existence d'une différence significative entre les avis donnés par les enquêtés sur les différentes parties des plantes utilisées dans la lutte contre *S. zeamais*. La distribution de leurs réponses à cette problématique diffère très significativement d'une distribution uniforme au seuil de 0,001. La plupart de nos enquêtés utilisaient la partie foliaire dans la lutte biologique contre *Sitophilus zeamais*, suivie de la plante entière et des fruits.

2.5.8 Opinion des enquêtés sur l'importance économique

Les avis des enquêtés sur les divers insectes ravageurs de stock (*Sitophilus oryzae*, *Prostephanus truncatus*, *Rhyzoprtha dominca*, *Trogoderma granarium* et *Tribolium castaneum*) causant des dégâts sont consignés dans le tableau 2.17

Tableau 2.8 Avis des enquêtés sur d'autres ravageurs de maïs en stockage

Présence d'autres ravageurs	Effectif	Pourcentage
Oui	302	90
Non	10	3
Indécis	24	7
Total	336	100

Ce tableau révèle que 90% d'enquêtés reconnaissent l'existence d'autres insectes ravageurs des denrées alimentaires (*Rhyzopertha dominica*, *Tribolium* spp,

Sitophilus spp., *Trogoderma granarium*, *Sitotroga cerealella* et *Prostephanus truncatus*) en dehors de *S. zeamais*. Par contre, 7% d'enquêtés sont indécis : ils n'ont pas une réponse précise ou correcte. Enfin, 3% d'enquêtés prétendent ne pas connaître d'autres ravageurs.

2.5.9 Difficultés rencontrées en conservation du maïs

Les difficultés rencontrées et les problèmes exprimés par les exploitants agricoles en conservation des grains de maïs dans les sites enquêtés dans la ville-province de Kinshasa et Kongo Central en République Démocratique du Congo (RDC) se trouvent dans le tableau 2.18.

Tableau 2.9 Difficultés rencontrées par les exploitants agricoles en RDC

Types de difficultés	Effectif	Pourcentage
Manque d'encadrement technique	145	43
Absence de crédit agricole	23	7
Manque d'infrastructures adéquates	168	50
Total	336	100

Le tableau 2.18 ci-dessus indique que 43% des agriculteurs interrogés ont des problèmes évidents d'encadrement, 7% des enquêtés recherchent un financement pour exercer correctement leur métier, 50% ne disposent pas d'infrastructures adéquates pour la bonne conservation de leurs stocks. On considère donc que le manque d'infrastructures adéquates est la principale difficulté rencontrée par les marchands dans l'exercice de leur travail, suivi du manque d'encadrement technique.

Les avis de nos enquêtés sur les difficultés rencontrées en conservation du maïs diffèrent significativement selon les provinces. A Kinshasa, on signale surtout le manque d'infrastructures alors qu'au Kongo Central, c'est plutôt le manque d'encadrement technique qui est mis en exergue. Les hommes ont davantage fait allusion au manque d'encadrement technique alors que les femmes ont grandement déploré l'absence d'infrastructures. Quant au sexe (genre), le sexe masculin a stigmatisé le manque d'encadrement technique alors que le sexe féminin a relevé le manque d'infrastructures.

2.6 Discussion partielle

Les résultats de l'enquête ethnobotanique indiquent que les répondants ont identifié 8 espèces végétales parmi les 23 enquêtés comme ayant d'activités insecticides. En fait, 86,96% des personnes interrogées reconnaissent que 20 sur le total de 23 espèces végétales sont protectrices des grains de maïs en conservation. Selon Dunkel *et al.*, (1990), les études effectuées au Rwanda sur les plantes aromatiques et médicinales, notamment avec *Tetradeniariparia* L. pour la protection des produits post-récoltes, ont donné des résultats satisfaisants. Car 63,1% de répondants confirment qu'ils ont subi des types de pertes des grains stockés. Il existe une différence statistiquement significative entre les avis des observateurs des dégâts au champ et en conservation au seuil de signification 0,001.

Pour la gestion des charançons, 59,8% de répondants ont déclaré qu'ils utilisent l'exposition au soleil, l'enfumage et le tamisage. Il existe une différence très significative entre les avis émis par les enquêtés sur les moyens de gestion de *S. zeamais*. Les enquêtés font l'exposition au soleil, le tamisage et utilisent les plantes à effets insecticides comme moyen de protection des denrées alimentaires et qui corroborent les résultats obtenus par Regnault-Roger (2002) et Ndju-Essaho and Nyongombe (2017). Boeke *et al.* (2004); par exemple, ont relevé une action répulsive et toxique de *Tephrosia vogelii* Hook f. sur *C. maculatus* Fab., alors que *Blumea aurita* (L.) DC, ne présente aucune toxicité et possède un puissant pouvoir répulsif. Paul *et al.* (2009) et Huignard *et al.* (2011) ont fourni, de leur part, plusieurs exemples de plantes qui ont une efficacité différente entre les feuilles entières ou réduites en poudre et les graines dans le contrôle de *C. maculatus* Fab. et *Zabrotessubfasciatus* (Boheman).

Les études effectuées avec des poudres des espèces végétales (*Eucalyptus citriodora*, *Cupressus lucitanica* et de *Tagetas minitiflora*) dans la conservation du maïs et du haricot dans les conditions de Rethy en République Démocratique du Congo ont démontré les effets insecticides sur *S. zeamais* et *Acanthoscelides obtectus* Say. (Kolama *et al.*, 2008). Nous avons rejeté l'hypothèse nulle de l'indépendance des avis des personnes enquêtées sur l'utilisation des moyens de protection comparativement aux provinces d'origine et au genre. Les avis des enquêtés diffèrent significativement selon les provinces d'origine et selon le genre. Les chercheurs,

Gueye (2008a), Dobie (1997) et Lienard et Seck (1994) conseillent comme moyens de protection traditionnelle, biologiques intégrés, l'utilisation des variétés résistantes et des bioinsecticides d'origine végétale à action synergique combinée additive.

Il est évident, affirment les enquêtes, que le manque d'infrastructures adéquates et d'encadrement technique sont les principales difficultés rencontrées par les agriculteurs. Selon Gwinneret *al.*, 1996 ; Piltz, 1981 ; Zehrer, 1981b, les dégâts constatés pendant le stockage sont dûs parfois au non-respect des principes fondamentaux de base dans l'entreposage, en rapport avec des mesures prophylactiques, l'hygiène des bâtiments et l'observance des conditions climatiques. Les conditions de séchage des grains de maïs devraient rigoureusement respecter la réglementation en vigueur lors de la manutention et de la conservation (Harnisch, 1981 ; Zehrer, 1981a et Ferron, 1989). Quant aux difficultés rencontrées, les réponses différentstatistiquement selon les provinces. L'une des solutions alternatives aux différentes contraintes observées serait la pratique des bios pesticides locaux de substitution au lieu des pesticides chimiques, mais qui ont fait des preuves ailleurs (Cloutier, 1992 ; Konda *et al.*, 1992 et Gueye, 2008b).

2.7 Conclusion partielle

Les plantes insecticides enquêtées présentent chacune des caractéristiques différentes sur le plan botanique, biologique et chimique selon le mode d'action (site d'action/effet). Quant aux pertes causées par les charançons, il existe une différence statistiquement significative due à l'action insecticide de chaque plante. La majorité des enquêtés fait observer des dégâts très importants portés sur les denrées alimentaires. Il n'existe pas de différence d'avis des enquêtés selon les provinces d'origine. Les hommes et les femmes de deux provinces se plaignent des types de pertes : pertes de poids, qualitatives, nutritives, de viabilité des semences et commerciales qui impliquent le déficit économique et social. Il s'est manifestement dégagé une différence très significative au sujet des moyens de protection en gestion des insectes nuisibles. L'utilisation des bios-insecticides d'origine végétale a occupé une place de choix comme moyen de protection. Les enquêtés de Kinshasa utilisent le moyen de lutte chimique et les bio insecticides végétaux compte tenu de leur expertise. Les avis des enquêtés du Kongo Central sont favorables à l'exposition au soleil, l'enfumage et le tamisage des grains de maïs. Les femmes utilisent plus les insecticides végétaux tandis que les hommes pratiquent l'exposition au soleil, l'enfumage et le tamisage.

Les bio-pesticides d'origine végétale ont retenu notre attention compte tenu de leurs effets insecticides bénéfiques dans la lutte biologique d'origine végétale. Les molécules allélochimiques végétales et extraits des plantes présentent plusieurs propriétés intrinsèques qui devraient leur permettre de s'inscrire dans des stratégies alternatives, dans tout programme de gestion raisonnée et de lutte intégrée. La démarche actuellement en plein développement s'appuie sur une stratégie innovante qui vise possibilité, pour la plante, de réagir elle-même contre les bio-agresseurs. Les substances utilisées sont appelées naturellement stimulateurs de défense naturelle. Il est conseillé l'usage des extraits des plantes insecticides ayant donné les résultats satisfaisants aux tests phytochimiques, biochimiques, toxiques et écotoxicologiques.

Figures de l'enquête ethnobotanique des plantes à effets insecticides
(Source : Ndju Essaho, 2013)



Figure 2.2 : *Annona senegalensis* Figure 2.3 : *Lantana camara*



Figure 2.4 : *Tithonia diversifolia*

Figure 2.5 : *Vernonia amygdalina*



Figure 2.6 : *Capsicum frutescens* Figure 2.7 : *Tetradenia riparia*



Figure 2.8 : *Ocimum gratissimum*

Figure 2.9 : *Cymbopogon citratus*

Chapitre troisième

Action insecticide des plantes et la tolérance des maïs vis-à-vis du charançon du maïs (*Sitophilus zeamais* Motschulsky.).

Ce chapitre est divisé en deux sous-chapitres qui traitent de l'évaluation de l'effet insecticide des poudres des feuilles présumées insecticides pour la gestion des bioagresseurs de l'ordre de *Coléoptera* : *Curculionidae* et la tolérance des variétés de maïs en régions tropicales au Sud du Sahara.

3.1 Action insecticide des poudres pour la gestion du charançon du maïs (*Sitophilus zeamais* Motschulsky.).

Ce premier sous-chapitre est consacré à l'évaluation des effets insecticides des formulations en poudre de huit plantes insecticides : *Lantana camara* L., *Tetradenia riparia* L., *Annona senegalensis* L., *Vernonia amygdalina* Del et *Cymbopogon citratus* (DC) Stapf., *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A.Gray, *Ocimum gratissimum* L., *Capsicum futescens* L., appliquées pour la protection des maïs en conservation. La question était de savoir si les poudres de ces plantes locales aux différentes doses pourraient avoir une action insecticide sur la vie, les types de pertes (poids) et stopper le déficit économique et social occasionnés par *Sitophilus zeamais* Motsch.

3.1.1 Résumé

Le nombre moyen d'insectes morts, de grains troués (fentes de sortie), et le pourcentage d'attaques des maïs étaient évalués en fonction de 5 doses des huit espèces végétales sur la variété Salongo 1. Deux doses de 4 et 6 g de poudres dans 50 g des grains de maïs ont eu l'efficacité insecticide sur *Sitophilus zeamais* (Motsch.) avec : *Lantana camara* L., *Tetradenia riparia* L., *Annona senegalensis* L., *Vernonia amygdalina* Del. et *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf.

La dose de 6 g des deux espèces végétales : *V. amygdalina* Del. et *C. citratus* (DC.) Stapf a eu respectivement les pourcentages d'attaques de maïs les plus bas de 36% et de 30,33% comparativement aux témoins avec les pourcentages d'attaques les plus élevés de 54% et 69,5%. La poudre foliaire de *Lantana camara* L. à la dose de 6 g avec 13,00 insectes morts n'a pas favorisé la prolifération de *Sitophilus zeamais* Motschulsky contre 3 insectes morts pour le témoin (pot non traité au bioinsecticide).

Les résultats obtenus révèlent que le nombre moyen de grains ayant des trous (fentes de sortie) a diminué proportionnellement à l'augmentation des doses croissantes de bios insecticides végétaux. Le nombre moyen d'insectes morts a diminué dans l'ordre croissant des doses de bios insecticides pour les six espèces végétales. Les espèces végétales insecticides aux doses de 4 et 6 g de poudres/50 g de maïs diminuent le nombre moyen de grains troués, la prolifération des charançons et réduisent très sensiblement les pourcentages d'attaques des grains de maïs.

Mots clés : Grains de maïs, bio insecticides d'origine végétale, doses des poudres de feuilles d'espèces végétales *Sitophilus zeamais* Motschulsky et protection des denrées alimentaires.

3.1.2 Introduction

Parmi les problèmes les plus importants de la filière maïs, il existe celui de la conservation et de la protection des maïs dans les entrepôts ou les greniers traditionnels. Les insectes se développent rapidement grâce au climat favorable et peuvent détruire 30 à 50 % des récoltes après quelques mois d'entreposage (Hall, 1970 ; Alzouma, 1990 ; Foua-Bi, 1992). Un autre inconvénient de ces insecticides de contact est qu'ils n'ont pas d'activités insecticides sur certains stades de développement du ravageur qui est caché dans les grains des céréales. Leur utilisation excessive provoque l'apparition des souches résistantes dans la population des insectes nuisibles et la bioaccumulation, la bioamplification avec des effets collatéraux au niveau des différents maillons de la chaîne trophique (Alzouma *et al.*, 1996 ; Addac *et al.*, 2002 et Raven *et al.*, 2009).

Les biopesticides d'origine végétale, par contre, sont biodégradables et moins toxiques que les insecticides de synthèse (Seck, 1996 ; Hamraoui et Regnault-Roger, 1997). L'étude de la relation dose et efficacité d'insecticide botanique contre les charançons des céréales a fourni de bons résultats en protection des denrées stockées (Léonard, 2004 ; Regnault-Roger *et al.*, 2008). Selon Tapondjou *et al.* (2002) et Delobel et Malonga (1987), le règne végétal offre à cet égard beaucoup de possibilités dans la pratique des bioinsecticides contre les ravageurs des produits de récolte. L'ordre de Coléoptères, Lépidoptères et certains Acariens est sensible aux effets insecticides notamment : d'*Alliaceae*, de *Fabaceae*, d'*Arteraceae*, de *Lamiaceae* et de *Brassicaceae*, en particulier aux extraits d'ail, oignons, choux et moutardes. Ils se révèlent toxiques pour les pucerons *Sitobionavenae* et *Rhopalosiphum padi* (Nasseh, 1983), pour le criquet : *Schistocerca gregaria* (Thapar et Chandra, 1981).

3.1.3 Matériel et méthodes

3.1.3.1 Matériel biologique

Le matériel végétal était constitué de la variété Salongo 1 et des échantillons des plantes médicinales et aromatiques à effets insecticides utilisés dans le cadre de cette étude.

A) Variétés de maïs

Le cultivar Salongo 1 obtenu de l'INERA/M'vuazi est originaire du CYMMIT (Mexique). Il a été obtenu par le PNM et introduit en RD Congo en 1987. Il est du type variétal à pollinisation ouverte. Le rendement en milieu contrôlé varie de 3.000 à 4.000 Kg/ha tandis qu'en milieu réel, il est de 1.500 à 2.000 kg/ha. La variété résiste moyennement à la virose et à la verse alors qu'elle est sensible à la sécheresse (Anonyme, 2008b).

B) Plantes à effets insecticides

Il s'agit des formations en poudre des feuilles de plantes ci-dessous appliquées pour le contrôle de *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Anonyme, 2008a)

a) *Annona senegalensis* Pers.

A. senegalensis est de la famille d'*Annonaceae*. L'infusion obtenue à partir des racines est un bon purgatif tandis que l'infusion obtenue à partir des feuilles donne de l'énergie et est un léger laxatif. Les feuilles et les graines broyées peuvent être utilisées pour éliminer les pucerons et d'autres insectes. On peut mettre les feuilles dans les nids pour éloigner les poux chez la volaille (Stoll, 2000).

Les principes actifs se trouvent dans les fruits immatures, les feuilles et les racines. La teneur en huile dans les graines varie de 42 à 45 %. Les propriétés insecticides sont les graines, les feuilles et les fruits immatures. Son mode d'action est le contact et l'ingestion (Stoll, 2002 et Latham et Konda, 2010).

b) *Capsicum frutescens* L.

Le piment est originaire de l'Amérique centrale et appartient à la famille de *Solanaceae*. Le fruit est une baie dont la mésocarpe est souvent molle, très piquante et peu parfumée (Latham et Konda, 2007).

Les fruits et les feuilles ont des usages médicaux : ils traitent la polyarthrite rhumatoïde, les entorses, les douleurs de muscles, le lumbago et la sciatique. On les utilise pour traiter la flatuosité et les hémorroïdes, les maladies de la peau, le zona et comme analgésique (Stoll, 2002 et Latham et Konda, 2010).

c) *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf

La citronnelle (*C. citratus*) appartenant à la famille des *Poaceae*, est originaire de l'Inde et introduite en Afrique. Les huiles essentielles sont utilisées pour la fabrication du savon et du parfum. Elles ont des propriétés antiseptiques et antioxydantes. En médecine traditionnelle, la citronnelle est utilisée contre plusieurs maladies et infections. Elle est utilisée dans les produits anti-moustiques (Van Damme, 2001 et Latham et Konda, 2010).

d) *Lantana camara* L.

L. camara est un arbuste ou un buisson grimpant de 1 à 5 m de hauteur appartenant à la famille de *Verbenaceae* (Ogendo *et al.*, 2004 et Latham et Konda, 2010). Au Kongo Central, on utilise la plante pour combattre la toux et la fièvre. La poudre des feuilles est efficace pour expulser les charançons du maïs stocké. *L. camara* est un insectifuge et ses extraits végétaux sont utilisés au cours de stockage. Il a aussi un mode d'action répulsif, et il empêche l'oviposition au cours du stockage. Les insectes cibles sont les bruches des graines des légumineuses et la teigne de la pomme de terre. Sa persistance d'action peut aller jusqu'à 6 mois (Stoll, 2002).

e) *Ocimum gratissimum* L.

O. gratissimum L. est de la famille de *Lamiaceae*. C'est une plante annuelle, ramifiée, aromatique, ligneuse à la base et atteignant 1 m de hauteur (Kibungu, 1990).

Au Kongo Central, les feuilles de la plante sont utilisées en médecine en cas de gastrite et d'hémorroïdes. Une infusion des feuilles favorise la digestion et peuvent être utilisées pour tuer les mineuses des feuilles d'avocatier et d'autres arbres fruitiers (Stoll, 2000). Les feuilles séchées et finement broyées, à raison de 2 %, empêchent totalement la ponte de la bruche brésilienne (*Zabrotes subfasciatus* Boheman.) sur le haricot Pinto ou haricot « peint » (*Phaseolus vulgaris* cv. Othello) sec (Stoll, 2002).

f) *Tetradenia riparia* L.

T. riparia de la famille de *Lamiaceae* est un arbuste de 5 m de hauteur, feuilles simples de 8 à 12 cm de long et de 8 à 10 cm de large et sont opposées et pétiolées ; le limbe est ovale ou cordiforme. En médecine traditionnelle, *Tetradenia riparia* est utilisé pour soigner l'angine, la toux, la diarrhée, la dysenterie, la malaria, les vers intestinaux et les douleurs dentaires (Van Puyvelde). Les feuilles sont utilisées pour protéger les haricots stockés. Elles montrent une activité insecticide contre la bruche du haricot, et ont une action antibactérienne (Van Puyvelde, *op. cit.*). La plante est localement connue sous le nom de mutuzo.

g) *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray

T. diversifolia est un arbuste, très ramifié, persistant et atteignant une hauteur de 3 m. Dans les villages, elle fait l'office d'une haie délimitant les potagers (Latham et Konda, 2010).

On estime également que l'infusion des feuilles peut être appliquée sur les troncs d'arbre ou versée dans les trous pour éliminer les termites (Latham et Konda,

2007). Ses boutons floraux sont utilisés comme insecticide contre la mouche orientale des fruits (*Batrocera dorsalis*). On fait la préparation et l'application d'un extrait à 10 %. En faisant bouillir des boutons floraux dans l'eau, on élimine ainsi 85 % de mouches orientales des fruits en une heure (Stoll, 2002).

h) *Vernonia amygdalina* Del.

V. amygdalina est un arbuste de 3 à 5 m de hauteur appartenant à la famille d'*Asteraceae* (Pauwels, 1993). Elle est aussi une plante alimentaire ; les feuilles sont consommées comme des légumes. La plante a des vertus thérapeutiques : lutte contre la gale, la constipation, les hémorroïdes et l'utilisation comme un aphrodisiaque. La plante est aussi insecticide (Kibungu, 1990 et Latham et Konda, 2010).

C) Matériel animal

Sitophilus zeamais Motschulsky a été récolté au Beach Ngobila, dans la commune de la Gombe, à Kinshasa. L'insecte *Sitophilus zeamais* a été élevé dans les grains de maïs au laboratoire d'entomologie fondamentale et appliquée à l'Institut National de Recherche Biomédicale (INRB) à Kinshasa.

D) Autres matériels

- Une balance de précision de la marque Scoxelet portable pour peser les grains de maïs utilisés pendant la période d'expérimentation.
- Une loupe binoculaire pour l'observation des stades de développement et la morphologie de différents organes et la séparation de sexes des charançons.
- Un pinceau, une cuillère à café, une boîte en plastique, des boîtes de Pétri, des plateaux en plastique, des pots en plastique. etc.

3.1.3.2 Méthodes

La récolte et la préparation du matériel végétal ont été conduites selon les modalités et observances scientifiques qui ont abouti aux résultats ci-après.

A) Récolte des feuilles d'espèces végétales

Les feuilles ont été récoltées du 1^{er} au 20 juin 2012 après la rosée, moment idéal pour le prélèvement (Seck, 1993a ; Delobel, 1994 et Stoll, 2002). Nous avons récolté ces feuilles durant les premières heures de la journée sèche et ensoleillée. Les plantes attaquées par des insectes ou des parasites et qui ont présenté des excréments n'ont pas été prélevées. Les feuilles étaient cueillies au début de la floraison, car c'est à ce stade qu'elles contiennent la plus grande quantité de suc (Seck, 1993b ; Pamplona-Roger, 2000 et Isman, 2006).

B) Préparation des bioinsecticides d'origine végétale

Les feuilles étaient découpées et étalées en couches minces sur les tables, et le séchage se fait à l'ombre au laboratoire pendant dix jours. Le broyage des feuilles, les formulations en poudre ont été tamisées au CREN-K. Les doses 0, 1, 2, 4 et 6 g ont été retenues et incorporées dans les pots en plastique.

C) Mise en pots de *Sitophiluszeamais* Motsch.

Chaque unité expérimentale (un pot) a été artificiellement infestée par un même nombre d'imagos d'âge indéterminé avec des sexes différents (5 mâles et 5 femelles de *S.zeamais*). La séparation des sexes a été faite à partir des caractéristiques du rostre décrites par Halstead (1963). La différenciation entre les charançons mâles et femelles a été vérifiée au niveau de la corpulence et de la surface de leur rostre. En effet, le sexage l'a été avec la loupe binoculaire.

D) Dispositif expérimental

L'expérimentation était menée au laboratoire de chimie de la Faculté des Sciences à l'Université Pédagogique Nationale, qui comptait 5 traitements avec 4 répétitions, un dispositif expérimental en blocs complètement aléatoires pour chaque espèce végétale.

E) Doses des formulations en poudre

Les cinq doses ont été expérimentées dont chacune a été répétée quatre fois. Chaque pot contenant 50 g de maïs et 10 insectes (5 mâles et 5 femelles). Le cultivar éprouvé est Salongo 1.

- 1) **Dose 0 g** : témoin avec 50 g de maïs et 10 *Sitophilus zeamais* Motsch. ;
- 2) **Dose 1 g** : 50 g de maïs et 10 *Sitophilus zeamais* Motsch. ;
- 3) **Dose 2 g** : 50 g de maïs, 10 *Sitophilus zeamais* Motsch. ;
- 4) **Dose 4 g** : 50 g de maïs, 10 *Sitophilus zeamais* Motsch. ;
- 5) **Dose 6 g** : 50 g de maïs, 10 *Sitophilus zeamais* Motsch.

F) Paramètres entomologiques et agronomiques enregistrés

Les paramètres retenus pour l'expérimentation sont :

- 1) Nombre d'insectes morts ;
- 2) Nombre de trous de ponte ;
- 3) Pourcentage d'attaques des grains de maïs.

Le dénombrement et le comptage étaient opérés sur 150 grains de maïs que composait chaque échantillon de 50 g de maïs.

G) Analyse statistique

Les résultats obtenus ont été soumis à une analyse statistique avec le logiciel Statistix 8. Les résultats étaient analysés en utilisant les méthodes statistiques des blocs complètement randomisés. L'analyse de la variance a été faite après la transformation des données brutes pour stabiliser la variance. Après les analyses de la variance, les différentes moyennes ont été comparées en utilisant le test de la plus petite différence significative (ppds) au seuil de probabilité 0,05 et 0,01.

H) Calcul du pourcentage d'attaques des grains de maïs

L'évaluation du pourcentage d'attaques des grains de maïs a été calculée par la formule de Pantenius, (1988) et de Gwinner *et al.* (1996) qui définissent le pourcentage d'attaques de maïs égrené en conservation (**A%**). Pour étudier le pourcentage d'attaques par le *Sitophilus zeamais* Motsch., la formule appliquée dans cette étude était celle-ci :

$$A \% = \frac{Na}{Ns+Na} \times 100$$

Légende :

- **Na** = nombre de grains attaqués (nombre de grains de maïs troués)
- **Ns** = nombre de grains sains (nombre de grains de maïs non troués)
- **Ns + Na** = nombre total de grains de maïs (troués et non troués)

3.1.4 Résultats

3.1.4.1 Action insecticide de la poudre de *Tetradenia riparia* L.

Le nombre de trous de ponte, d'insectes morts ainsi que le pourcentage d'attaques des maïs pendant trois mois de conservation sont consignées au tableau

3.1.1 :

Tableau 3.1.1 Grains troués, insectes morts et pourcentage d'attaques de maïs

Doses	Paramètres évalués après la conservation		
	Nombre Moyen de grains troués	Nombre Moyen d'insectes morts	Pourcentage d'attaques des maïs
0 g	78±4.78a*	5±0.95a	52,00%
1 g	78 ±6.21a	6±1.25a	52,00%
2 g	63±7.59b	6±2.21a	42,00%
4 g	59±3.91b	7±0.81a	39,33%
6 g	34±2.98c	7±1.41a	22,66%
C.V. (%)	7,64	2,66	-
ppds (5%) (1%)	7,31 : 10,3	2,05 : 2,82	-

Légende

* Dans une colonne, les nombres suivis d'une même lettre n'ont pas de différence significative selon le test T Tukey Kramer HSD au seuil de $p=0,05$.

- 0 g : Témoin ;
- 1 g : dose de 1 g de bioinsecticide d'origine végétale ;
- 2 g : dose de 2 g de bioinsecticide d'origine végétale ;
- 4 g : dose de 4 g de bioinsecticide d'origine végétale ;
- 6 g : dose de 6 g de bioinsecticide d'origine végétale ;

L'analyse de la variance et ppds ont révélé des différences significatives entre les différentes doses expérimentées des formulations en poudre foliaire de *T. riparia* au seuil de 5%. Il en ressort que:

1. Le nombre de grains ayant des trous était inférieur à la dose de 6 g, soit 34 à 35 grains troués comparativement au témoin avec 78 à 79 grains troués. Les doses 2, 4 et 6 g ont présenté le nombre moyen de grains troués statistiquement différent de la dose 1 g et témoin (0 g).
2. Le nombre d'insectes morts n'a pas été évalué au niveau de comparaison multiple des moyennes des doses parce qu'il n'a pas présenté de différence significative entre elles ; $F_{théo}$ étant supérieur à F_{cal} .

3. Le pourcentage d'attaques des grains de maïs présente des différences entre eux et les doses de 4 et 6 g sont eu moins de 40% d'attaques qui n'impliquent pas de déficit socioéconomique pour l'agriculteur.

L'interprétation du tableau ci-dessus renseigne que les doses de *Tetradenia riparia* n'ont pas eu d'effets insecticides positifs sur la mort *S. zeamais*. Il s'ensuit qu'il n'y a pas eude différences significatives entre les moyennes d'insectes morts. Toutefois, *Tetradenia riparia* présente d'effet répulsif ou antiappétens. Par contre, les différentes doses de *T. riparia* ont agi significativement entre les moyennes du nombre de grains ayant des trous de ponte. On note qu'il existedes différences entre les pourcentages d'attaques des maïs et les dégâts causés par *S. zeamais*.

3.1.4.2 Actiion insecticide de la poudre de *Vernonia amygdalina*Del

Le nombre de trous de ponte, d'insectes morts ainsi que le pourcentage d'attaques des grains de maïs en conservation sont [repris sur](#) le tableau 3.1.2 :

Tableau 3.1.2 Grains troués, insectes morts et pourcentage d'attaques de maïs

Doses	Paramètres évalués après la conservation		
	Nombre Moyen de grains troués	Nombre Moyen d'insectes morts	Pourcentage d'attaques de maïs
0 g	81,50 ± 4.7958a*	3,25±2.2174c	54,333%
1 g	75,50 ±7.6811a	6,00 ±0.8165b	50,333%
2 g	65,75 ±3.3040b	7,50 ±1.2910ab	43,833%
4 g	60,00 ±4.3205bc	8,25 ±1.7078ab	40,000%
6 g	54,00 ±3.7417c	8,50 ±1.2910a	36,000%
C.V. (%)	7,99	23,79	-
ppds (5%) (1%)	8,30 :11,64	2,46 :3,45	-

1. Les grains troués avec les 0 g et 1 g ont présenté de grains ayant des trous les plus élevés, soit respectivement : 81 à 82 et 75 à 76 contre 54,00 pour la dose de 6 g.
2. Le nombre d'insectes morts et la dose de 0 g ont eu un nombre inférieur d'insectes morts avec 3 à 4 contre les doses de 4 et de 6 g qui ont eu respectivement 7 à 8 et 8 à 9 nombres des insectes morts.

3. Le pourcentage d'attaques de maïs égrenés par *S. zeamais* manifestent les effets insecticides. L'insecticide végétal a protégé les grains de maïs avec la dose de 6 g avec le pourcentage d'attaques le plus bas que le témoin 36,00% .

La vertu insecticide des feuilles de *V. amygdalina* s'est manifestée par le nombre plus élevé de charançons morts (8 à 9) avec la dose de 6 g. Les résultats traduisent les effets insecticides différemment significatifs entre les moyennes de nombre d'insectes morts. Les différentes doses de *V. amygdalina* ont présenté des effets insecticides très significatifs à travers les moyennes du nombre de grains troués. Ces effets bioinsecticides actifs se sont aussi manifestés par le pourcentage d'attaques des grains de maïs.

3.1.4.3 Action insecticide de la poudre de *Cymbopogon citratus* (DC) Stapf

Le nombre de trous de ponte, d'insectes morts ainsi que le pourcentage d'attaques des maïs lors du stockage sont consignés dans le tableau 3.1.3 :

Tableau 3.1.3 Grains troués, insectes morts et pourcentage d'attaques de maïs

Doses	Paramètres évalués lors de la conservation		
	Nombre Moyen de grains troués	Nombre Moyen d'insectes morts	Pourcentage d'attaques des maïs
0 g	104,25 ±10.658a*	6,50 ±1.2910a	69,500%
1 g	87,25 ±9.2871b	8,50 ±1.9149ab	58,166%
2 g	61,50 ±6.2450c	8,75 ±1.5000ab	41,000%
4 g	55,00 ±10.42cd	9,00 ±2.9439ab	36,666%
6 g	45,50 ±4.2032d	10,00 ±1.41424ab	30,333%
C.V. (%)	9,06	24,86	-
ppds (5%) (1%)	9,87 : 13,84	3,27 : 4,58	-

Les moyennes les plus faibles des grains troués ont été observées dans les doses de 4 et 6 g de poudre. Et le nombre moyen d'insectes morts n'a pas présenté de différences significatives entre les différentes doses des poudres de *C. citratus*. Les moyennes de poids des grains de maïs ont suffisamment manifesté les effets insecticides.

1. Les doses de 4 et 6 g de la poudre de *C. citratus* ont manifesté statistiquement un pouvoir insecticide le plus élevé avec 55 et 45, nombre moyen de trous le plus faible contre 104 à 105, nombre moyen de trous pour le témoin.
2. Pour le nombre moyen d'insectes morts, la valeur de $F_{cal.}$ est non significative ($F_{calculé}$ est inférieur au $F_{tableau}$). L'action insecticide n'est pas présente entre les doses, mais il y a des effets répulsifs probablement.
3. Les pourcentages de maïs attaqués par *S. zeamais* ont exprimé l'action bio insecticide végétale positive étant totalement différente du témoin.

L'interprétation du tableau ci-dessus par rapport aux résultats obtenus traduit les effets insecticides significatifs de différentes doses sur le nombre moyen d'insectes morts. La dose de 6 g a manifesté le nombre moyen d'insectes morts supérieur à toutes les doses et le témoin. Les doses de 4 et 6 g ont présenté des effets insecticides sur les moyennes du nombre des trous de ponte comparativement au témoin et à la dose 1 g. Le pourcentage d'attaques donne des indications claires des vertus insecticides et insectifuges de ces plantes présumées pesticides aux doses 4 et 6 g de poudre de *V. amygdalina*.

3.1.4.4 Action insecticide de la poudre de *Lantana camara* L.

Le nombre de trous de ponte, d'insectes morts ainsi que le pourcentage d'attaques des maïs après une conservation de trois mois sont consignés au tableau 3.1.4

Tableau 3.1.4 Grains troués, insectes morts et pourcentage d'attaques de maïs

Doses	Paramètres évalués après la conservation		
	Nombre Moyen de grains troués	Nombre Moyen d'insectes morts	Pourcentage d'attaques de maïs
0 g	80,50 $\pm$ 5.8023a*	3,75 $\pm$ 1.2583d	53,666%
1 g	68,75 $\pm$ 4.5000b	6,00 $\pm$ 0.8165c	45,833%
2 g	63,25 $\pm$ 6.5511b	6,50 $\pm$ 1.9149bc	42,166%
4 g	48,50 $\pm$ 3.5000c	8,25 $\pm$ 1.2583b	32,333%
6 g	48,25 $\pm$ 3.1091c	13,00 $\pm$ 0.8165a	32,166%
C.V. (%)	16,10	8,99	-
ppds (5%) (1%)	7,90 :11,1	1,87 :2,60	-

Après une multiple comparaison des moyennes des traitements deux à deux (Lsd), il ressort que :

1. Les doses de 4 g et 6 g ont été statistiquement différentes des autres doses et du témoin, par rapport au nombre moyen de grains troués.
2. On a constaté une différence significative aussi au nombre moyen des insectes morts aux doses de 4 et 6 g, lesquels ont donné le nombre moyen le plus élevé d'insectes morts respectivement 8 à 9 et 13,00 contre 3 à 4 insectes morts pour le témoin (0 g).
3. Les pourcentages des maïs attaqués par *S. zeamais* aux doses de 4 et 6 g étaient les plus faibles de toutes les doses ; soit respectivement 32,33% et 32,16% contre 53,66% pour le témoin (0 g).

Les doses de 4 et 6 g ont présenté des effets insecticides très différemment significatifs par rapport au nombre moyen de grains de maïs troués, d'insectes morts. Ce qui lui confère le statut de plante à effet insecticide avéré. L'activité insecticide est vérifiée par les différents pourcentages d'attaques des grains de maïs traités bio insecticides aux doses 6 g (32,16%), 4 g (32,33%), 2 g (42,16%) et 1 g (45,83%) contre 0 g (53,66%) pour le témoin (0 g).

3.1.4.5 Action insecticide de la poudre d'*Annona senegalensis* Pers

Le nombre de trous de ponte, d'insectes morts ainsi que le pourcentage d'attaques des maïs après la conservation sont signalés sur le tableau 3.1.5.

Tableau 3.1.5 Grains troués, insectes morts et pourcentage d'attaques de maïs

Doses	Paramètres évalués après la conservation		
	Nombre Moyen de grains troués	Nombre Moyen d'insectes morts	Pourcentage d'attaques de maïs
0 g	77,50 ±9.2916a*	2,75 ±0.9574b	51,666%
1 g	73,25 ±6.7020ab	3,50 ±1.9149b	48,833%
2 g	68,50 ±1.8257ab	5,00 ±6.1914b	45,666%
4 g	65,50 ±2.0817b	6,00 ±2.8284b	43,666%
6 g	46,25 ±4.6458c	12,50 ±2.0817a	30,833%
C.V. (%)	10,38	36,89	-
ppds (5%) (1%)	10,39 :14,57	3,38 :4,74	-

Les analyses de la variance ont relevé des différences significatives entre les différents traitements des bios insecticides d'origine végétale :

1. Les résultats de la comparaison multiple (lsd) indiquent que la dose de 6 g est la meilleure de la poudre d'*A. senegalensis*. La dose de 6 g a eu 47 nombres moyens des grains ayant des trous contre 78 pour le témoin (0 g).
2. Quant au nombre moyen d'insectes morts, les doses : 0 g, 1 g, 2 g, et 4 g ne présentaient pas de différences significatives entre eux, mais différaient de dose de 6 g.
3. Les pourcentages des grains de maïs infestés par *S. zeamais* ont justifié les actions bios insecticides, soit 30,83% pour la dose 6 g contre 51,66% pour la dose de 0 g (témoin)

Le nombre moyen élevé des insectes morts se justifie par le pouvoir insecticide des feuilles d'*A. senegalensis* qui s'est manifesté à la dose de 6 g. Les effets bioinsecticides d'*A. senegalensis* se sont différemment manifestés avec les doses sur le nombre moyen des grains troués et insectes morts. L'effet bio-insecticide est aussi certifié par les pourcentages d'attaques des grains de maïs.

3.1.4.6 Action insecticide de la poudre d'*Ocinum gratissimum* L.

Le tableau 3.1.6 ci-dessous reprend le nombre de trous de ponte, le nombre d'insectes morts ainsi que les pourcentages d'attaques des grains de maïs après la conservation.

Tableau 3.1.6 Grains troués, insectes morts et pourcentage d'attaques de maïs

Doses	Paramètres évalués après la conservation		
	Nombre Moyen de grains troués	Nombre Moyen d'insectes morts	Pourcentage d'attaques de maïs
0 g	85,75 ±4.9244a*	5,0 ±0.8165b	57,166%
1 g	84,75 ±9.7425a	5,25 ±1.7078b	56,500%
2 g	79,25 ±1.5000ab	6,5 ±1.7321ab	52,833%
4 g	75,00 ±4.0825b	6,25 ±1.2583ab	50,000%
6 g	73,75 ±4.7871b	7,3 ±0.9574a	49,166%
C.V. (%)	8,02	20,41	-
ppds (5%) (1%)	10,39 :14,57	3,49 : 5,95	-

Il ressort de ce tableau ce qui suit par rapport aux activités insecticides d'*Ocinum gratissimum* L. :

1. La dose de 6 g a fait mourir un nombre moyen le plus élevé d'insectes que toutes les autres doses qui n'ont pas manifesté de différences statistiques entre elles.
2. Les résultats de ppds présente une différence significative entre les doses de 0 et 1 g avec les doses de 4 et 6 g pour le nombre moyen des grains troués. Les doses de 4 et 6 g ont présenté un nombre moyen de grains moins troués (75,00 et 73 à 74) que la dose de 0 g, le témoin (85 à 86)
3. Les pourcentages d'attaques des grains de maïs affectés par *S. zeamais* ont démontré les mêmes vertus insecticides au travers des résultats de différentes doses de bioinsecticides.

L'interprétation du tableau ci-dessus dégage les effets insecticides des différentes doses sur les moyennes d'insectes morts qui sont différemment significatifs. *O. gratissimum* aux doses de 4 et 6 g a indiqué des effets insecticides plus significatifs sur le nombre moyen des trous de ponte. Il y a manifestement des actions bioinsecticides et/ou bioinsectifuges sur le pourcentage d'attaques des grains de maïs par rapport au témoin.

3.1.4.7 Action insecticide de la poudre de *Tithonia diversifolia* L.

Le tableau suivant présente le nombre des trous de ponte, le nombre d'insectes morts ainsi que les pourcentages d'attaques des maïs égrenés après la conservation.

Tableau 3.1.7 Grains troués, insectes morts et pourcentage d'attaques de maïs

Doses	Paramètres évalués après la conservation		
	Nombre Moyen de grains troués	Nombre Moyen d'insectes morts	Pourcentage d'attaques de maïs
0 g	91,50 $\pm$ 2.6458a	5.75 $\pm$ 0.9574a	60,666%
1 g	91,00 $\pm$ 6.9761a	5,00 $\pm$ 2.1602a	60,666%
2 g	90,50 $\pm$ 4.2032a	5,00 $\pm$ 1.4142a	60,000%
4 g	89,00 $\pm$ 10.985a	6,25 $\pm$ 0.9574a	59,333%
6 g	87,00 $\pm$ 4.2032a	6,75 $\pm$ 0.9574a	58,000%
C.V. (%)	8,05	8,07	-
ppds (5%) (1%)	-	-	-

L'analyse de la variance effectuée sur l'effet de *T. diversifolia* vis-à-vis de *S. zeamais* montre que la valeur de F. calculée est inférieure à la valeur de F. tabulaire au seuil de probabilité 0,05 pour certains paramètres. Ainsi l'hypothèse nulle de l'égalité, l'action des traitements est acceptée. En d'autres mots, les traitements n'ont pas agi différemment pour :

1. Le nombre moyen d'insectes morts ;
2. Le nombre moyen de grains troués.
3. Mais, il y a des effets bioinsecticides et/ou bioinsectifuges pour les pourcentages d'attaques des grains de maïs indiquant des vertus insecticides d'origine végétale.

Ces résultats pourraient s'expliquer par l'état physiologique de l'espèce végétale et par les conditions écologiques lors de la récolte de la plante. Elles pourraient en outre avoir été influencées par la température, l'humidité relative de l'air ou la teneur en humidité de la marchandise stockée. Les pourcentages des grains de maïs suite à l'action insecticide du *S. zeamais* ont présenté des résultats ayant des écarts entre les différents pourcentages d'attaques de maïs traités par les produits phytosanitaires.

3.1.4.8 Action insecticide de la poudre de *Capsicum frutescens* L.

Le nombre de trous de sortie de l'insecte des grains, le nombre d'insectes morts ainsi que les pourcentages d'attaques des grains de maïs sont repris dans le tableau 3.1.8.

Tableau 3.1.8 Grains troués, insectes morts et pourcentage d'attaques de maïs

Doses	Paramètres évalués après la conservation		
	Nombre Moyen de grains troués	Nombre Moyen d'insectes morts	Pourcentage d'attaques de maïs
0 g	123,25 ±13.074a	4,50 ±1.2910a	82,000%
1 g	120,00±52.618a	4,00 ±0.8165a	80,000%
2 g	119,75 ±5.3151a	4,50 ±0.5774a	81,133%
4 g	119,75 ±7.0415a	5,75 ±0.9574a	80,000%
6 g	118,50 ±15.503a	6,00 ±2.1602a	79,333%
C.V. (%)	8,69	27,23	-
ppds (5%) (1%)	-	-	-

Le test d'analyse de la variance révèle que la valeur de F_{culc} n'est pas supérieure à la valeur de $F_{théo}$ au seuil de signification 0,05. Donc, l'hypothèse principale de l'égalité des moyennes des traitements est acceptée : le test est non significatif. Ces résultats signifieraient que *Capsicum frutescens* n'a pas agité très différemment sur les paramètres observés

1. Le nombre moyen d'insectes morts ;
2. Le nombre moyen de trous de ponte ;
3. L'efficacité des effets biopesticides est constatée moyennement par rapport aux pourcentages d'attaques des maïs avec les produits phytosanitaires d'origine végétale : la dose de 6 g (79,33%) contre les pots témoins dose de 0 g (82,00% : non traités).

L'interprétation des différents résultats indique que les différentes doses n'ont pas agi de manière significative sur le nombre d'insectes morts, et non plus sur le nombre de grains troués. Alors qu'au niveau des pourcentages d'attaques des grains de maïs, les activités bioinsecticides et/ou bio insectifuges se sont manifestées timidement en protection de maïs. *C. frutescens* a donné des résultats positivement significatifs par rapport aux attaques des grains de maïs par *Sitophilus zeamais*.

3.1.5 Discussion partielle

Les résultats obtenus indiquent que, parmi les espèces végétales à vertu insecticide, les formulations en poudre des espèces végétales : *T. riparia*, *V. amygdalina*, *C. citratus*, *L. camara*, *A. senegalensis*, *O. gratissimum* ont révélées des effets insecticides vis-à-vis de *Sitophilus zeamais* en entreposage des maïs. Deux espèces végétales, *T. diversifolia* et *C. frutescens* ont timidement manifesté les effets insecticides seulement sur les pourcentages d'attaques des grains de maïs.

Les doses de 4 à 6 g des formulations en poudre ont eu plus d'actions insecticides en empêchant la vie et la prolifération de l'insecte ravageur et en faisant moins de pourcentage d'attaques de maïs. Les moyennes non significatives ont été observées aux doses 2, 1 et 0 g de bioinsecticides sur le nombre moyen des insectes morts, trous de ponte et le pourcentage d'attaques des grains de maïs. Des résultats semblables avec des espèces végétales locales du Kivu ont été mis en évidence par de nombreux auteurs (Kolama *et al.*, 2008 et Munyuli, 2009) sur la survie des ravageurs, le déficit économique et social et la diminution des dégâts des céréales et des légumineuses. Nos résultats aux doses de 1 et 2 g sans effets insecticides concordent avec les travaux effectués sur la plante *Dermanys susgallinae*, et qui ne présentent pas d'effets insecticides sur le charançon de riz (Farrell et Schulten, 2002 et George, 2009). La différence non significative entre le nombre d'insectes morts peut être due à l'effet répulsif et antiappétant.

Ngamo *et al.*, (2001) et Ndiaye, (2005) ont rapporté que certaines molécules allélochimiques végétales responsables des actions toxiques sur les insectes ravageurs de stock seraient les substances secondaires à effet inhibiteur de la mue et du développement post-embryonnaire des insectes nuisibles comme cela a été observé sur *Tribolium castaneum*. Ces études ont été réalisées sur des plantes fréquemment utilisées localement par les paysans agriculteurs comme épices, condiments ou comme thérapeutique en médecine traditionnelle. Ces plantes ont traduit leur activité insecticide avec les travaux de (Djossou, 2006). En effet, ces résultats indiquent la toxicité de la poudre de *D. ascendens* ainsi que celle de l'*A. indica* sur *C. maculatus* Fab et *S. oryzae* L. Dans leurs différents travaux de recherche

en régions tropicales humides et sahéliennes, Farr *et al.* (2004) et Carlos et Sousa, (2006) ont rapporté les effets insecticides de *C. citratus* sur les insectes ravageurs des céréales (*Sitophilus* spp.) et des légumineuses (*C. maculatus* Fab. et *A. obtectus* Say.) en conservation.

Les résultats des poudres de différentes espèces végétales utilisées dans nos expérimentations aux doses de 4 et 6 g signifient que ces plantes pourraient contenir des molécules allélochimiques végétales avec effets insecticides sur la physiologie et le comportement de *S. zeamais*. Ils confirment ainsi le bien-fondé de leur utilisation par les paysans comme alternative aux pesticides de synthèse (Seck 1993 et Seck, 1996). Dunkel *et al.* (1990) et Dupriez *et al.* (2000) dans leur recherche sur les biopesticides d'origine végétale pour la gestion du genre *Sitophilus* spp. ont prouvé les effets insecticides en conservation des céréales. Ces chercheurs dans leurs différents travaux ont mis en évidence l'action insecticide de certaines plantes, notamment *Tetradenia riparia* dans la lutte contre *Sitophilus oryzae* L. au Rwanda. L'action insecticide de *Lantana camara* a été rapportée par Ogendo *et al.*, 2004 pour le contrôle d'*Acanthoscelides obtectus* en stockage des haricots au Cameroun.

Les poudres de *T. diversifolia* et de *C. frutescens* ont agi d'une manière moyennement significative au pourcentage d'attaques des grains de maïs. Ceci a démontré leur action insectifuge malgré qu'elle n'ait pas manifesté des effets insecticides sur la vie des charançons et le nombre moyen de trous de ponte. Haubruge et Amichot (1998) ont mis aussi en exergue les mécanismes de la résistance aux insecticides chez les insectes et les acariens qui pourraient être le cas de *T. diversifolia* et *C. frutescens*. Les résultats obtenus laissent supposer que les molécules végétales à effets insecticides peuvent varier d'une famille à une autre et à l'intérieur d'une même famille et que la sensibilité peut différer pour un insecte donné d'un stade à l'autre et aussi d'un environnement à un autre. Seck. (1993) et Boeke *et al.* (2004) ont démontré l'action répulsive et toxique de *Tephrosia vogelii* Hook f. sur *Callosobruchus maculatus* (Fab.), alors que *Blumea aurita* (L.) DC qui ne présente aucune toxicité possède un fort pouvoir répulsif. Par ailleurs, le *Xylopia aethiopica* Dunal du Mono récolté au Bénin est répulsif et la même espèce récoltée dans le Borgou n'est guère efficace. Paul *et al.* (2009) et Akob et Ewete (2007)

rapportent plusieurs cas de plantes ayant une efficacité différente entre les feuilles entières ou réduites en poudre et les graines dans le contrôle de *C. maculatus* et *Zabrotes subfasciatus* Boheman. Par contre, Haubruge *et al.* (1988) ont fait ressortir la relation entre la dose et l'efficacité de six insecticides végétaux contre les *Sitophilus* spp.

Le pourcentage d'attaques est un indicateur qui permet de porter un jugement objectif sur l'évaluation de l'efficacité des effets insecticides pour la gestion des ravageurs vis-à-vis des pertes socioéconomiques occasionnées par les ravageurs. Les résultats obtenus après l'analyse de la variance de différentes plantes corroborent ceux rapportés par Paul *et al.* (2009) qui ont mis en relief avec *Chenopodium ambrosioides* une variabilité de l'efficacité des doses en fonction des zones de collecte et des stades phénologiques. La poudre d'*Agava americana* (30g/kg grains) réduit la prolifération des charançons et la perte de poids du maïs en stock dans l'ordre de 2,4 à 4 et de 1,27 à 3% (Chifundera *et al.*, 1993). Munyuli et Balezi en 2001 ont démontré les effets insecticides sur l'utilisation des poudrages des plantes médicinales en protection des semences et des denrées alimentaires au Kivu.

Dans leurs différentes expériences recueillies respectivement sur les grains de céréales et les graines de légumineuses en conservation contre *Rhizopertha dominica* Fab., *Tribolium castaneum* Herbet., *Prostephanus truncatus* Horn., *Caryedon serratus* Olivier., *Callosobruchus maculatus* Fab. et *Acanthoscelides obtectus* Say. avec les bio insecticides d'origine végétale, Boye *et al.* (1988); Bekele et Hassanali (2001); Arnason (2006) et Dauguet *et al.* (2006) ont obtenus des résultats intéressants qui corroborent nos résultats aux doses de 4 et 6 g des poudres bioinsecticides.

3.1.6 Conclusion partielle

La présente étude sur l'efficacité des vertus insecticides des plantes dénommées : *Tetradenia riparia*, *Vernonia amygdalina*, *Cymbopogon citratus*, *Lantana camara*, *Tithonia diversifolia*, *Annona senegalensis*, *Ocimum gratissimum*, *Capsicum frutescens* et l'action insecticide des doses ont été significatives sur la vie des charançons, les grains troués, le pourcentage d'attaques et le déficit économique et social de la vente du maïs. L'utilisation des insecticides d'origine végétale non polluants, biodégradables et non toxiques pour les organismes non ciblés et aux animaux à sang chaud est recommandable.

Les doses 4 et 6 g de poudres de certaines plantes, notamment *T. riparia*, *V. amygdalina*, *L. camara*, *A. senegalensis*, ont réduit sensiblement les dégâts, le pourcentage d'attaques des maïs et la prolifération des ravageurs en conservation. *O. gratissimum* et *C. citratus* aux doses de 4 et 6 g ont agi significativement et différemment sur le nombre moyen de grains troués et les pourcentages d'attaques des maïs. Par contre, le nombre moyen d'insectes morts n'a pas manifesté la toxicité de poudre pour d'autres espèces végétales à vertus insecticides. Donc ces deux espèces botaniques ont aussi des effets répulsifs et/ou antiappétents sur le comportement et la physiologie du ravageur de stock.

L'espèce végétale est une matière première en protection phytochimique facilement disponible en milieu rural pour le contrôle des charançons et/ou bruches en conservation des denrées alimentaires. Cette technologie devrait, dans un avenir très proche, être adaptée pour assurer une protection biologique et productive en développement durable. La pratique des poudres foliaires des plantes à des doses raisonnables dans les pays en développement pourrait représenter une solution alternative en protection des cultures et produits de récolte et pour une agriculture biologique.

Il est nécessaire que les études se poursuivent sur des plantes insecticides qui ont donné des résultats si satisfaisants dans la lutte biologique contre les

ravageurs. Ces études auront comme objectif la détermination de leurs principes actifs et des doses létales (DL_{50}). Pour être d'application, ces nouvelles molécules doivent être considérées comme un créneau pour la recherche agronomique dans l'optique de la pratique des molécules allélochimiques végétales. La protection biologique d'origine végétale sauvegarde l'homme et l'environnement de la pollution, de l'intoxication et de la dégradation de la diversité biologique. Que ce soit sur le plan écologique, agroécosystème ou agronomique, les plantes produisent, selon les genres et espèces, des composés sémiochimiques de nature différente plus ou moins spécifique et sélective. Les plantes peuvent répondre aux agressions des insectes ravageurs et des parasites en libérant de grandes quantités de composés volatils attractifs pour leurs prédateurs ou leurs ennemis naturels, les parasitoïdes.

Figures des plantes à effets insecticides en herbiers pour la protection des maïs
(Source Ndju Essaho, 2014)



Figure 3.1.1 : *Ocimum gratissimum* L. Figure 3.1.2 : *Capsicum frutescens* L.



Figure 3.1.3 : *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf

Figure 3.1.4 : *Lantana camara* L.



Figure 3.1.5 : *Tithonia diversifolia* Hemsl.

Figure 3.1.6 : *Vernonia amygdalina* Del.



Figure 3.1.7 : *Annona senegalensis* Pers.

Figure 3.1.8 : *Tetradenia riparia* L.

Figures de vente des maïs et expérience sur les attaques de *Sitophilus zeamais*
(Source Ndjé Essaho, 2014)



Figure 3.1.9 Les grains de maïs en vente et les dégâts causés par les ravageurs



Figure 3.1.10 Les pots contenant le *S. zeamais*, les maïs et les poudres végétales



Figure 3.1.11 Dénombrement des trous, des insectes morts et survivants

3.2 Effet insecticide des plantes et tolérance des maïs en action des composés d'origine végétale en synergie vis-à-vis du charançon du maïs (*Sitophilus zeamais* Motschulsky.).

Ce dernier sous-chapitre traite de l'évaluation des activités insecticides des formulations en poudre de *Vernonia amygdalina* Del., de *Tetradeni riparia* L. et de *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf, appliquées en conservation de trois variétés et d'une lignée de maïs. La problématique était de savoir si les poudres extraites à partir de ces plantes locales à vertus insecticides peuvent agir en synergie associative et additive avec la tolérance des maïs vis-à-vis de *Sitophilus zeamais* Motsch. L'action synergique des composés d'origine végétale pourrait empêcher la prolifération de *Sitophilus zeamais* Motschulsky en limitant les diverses catégories de pertes économiques et sociales.

3.2.1 Résumé

L'action insecticide des formulations en poudres de 5 g par plante : *Vernonia amygdalina* Del., *Tetradenia riparia* L. et *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf, a été évaluée sur trois variétés et une lignée de maïs dans 50 g des grains de maïs de : Samaru, ZP 800, Kasaï 1 et L 55. L'évaluation des paramètres entomologiques et agronomiques suivants : 1) Le nombre moyen de trous; 2) Le nombre moyen d'insectes morts et estimation des pertes économiques ; 3) Le poids moyen de grains troués ; 4) Le poids moyen de grains sains ; 5) Le pourcentage d'attaques de charançons et 6) Le pourcentage de perte en poids des maïs. Les échantillons des grains de maïs ont été conservés pendant trois mois au laboratoire, suivant un dispositif en blocs avec split-plot à deux niveaux.

Les bio insecticides d'origine végétale (dose 5g de poudre foliaire/50g de maïs) réduisent significativement la vie et la prolifération de *S. zeamais* et les types de pertes. Le nombre moyen de grains troués chez le témoin pour la lignée L 55 était de 134 grains troués par rapport au témoin de la variété Kasaï 1 chez qui a présenté une moyenne de 49 grains troués. Les résultats indiquent que la variété Kasaï 1 est tolérante vis-à-vis des attaques de *Sitophilus zeamais* par rapport à la lignée L 55. L'hybride ZP 800, après l'analyse de la variance et lsd indiquent statistiquement des différences significatives entre la moyenne de témoin, de bioinsecticides et d'actellic, mais cette différence des moyennes n'existe pas entre les bioinsecticides végétaux.

Les pourcentages des pertes de poids des maïs de la variété Kasaï 1 traitée au bio insecticide *C. citratus* sont plus faibles (1,15%) de toutes les variétés et de la lignée de maïs avec d'autres bioinsecticides (*V. amygdalina* : 1,74% et *T. riparia* : 2,08%). L'espèce végétale, *Cymbopogon citratus* (5 g/50 g grains) réduit les pertes de poids et le pourcentage d'attaques des charançons avec le cultivar Kasaï 1 respectivement dans l'ordre de 4,666 et de 9,942% comparativement au témoin avec 14,33 et 27,586%. Il existe une action synergique des composés d'origine végétale combinée additive : des vertus bioinsecticides et la tolérance des maïs pour le contrôle de *Sitophilus zeamais* Motschulsky.

Motsclés : Protection phytosanitaire, action synergique d'origine végétale, insecticide chimique conventionnel, bioinsecticides, cultivars de maïs et *Sitophilus zeamais* Motschulsky.

3.2.2 Introduction

La conservation des grains de maïs dans les entrepôts ou les greniers traditionnels demeure une préoccupation majeure dans nos systèmes de production agricole en régions tropicales d'Afrique. Les ravageurs des produits de récolte se développent rapidement à cause des conditions climatiques favorables et peuvent détruire entre 30 à 50% des récoltes après quelques mois d'entreposage (Alzouma, 1990 ; Foua-Bi, 1992 ; Alzouma *et al.*, 1996). Plusieurs types de déprédateurs de stock sont à l'origine de ces pertes des grains de maïs en post-récolte en Afrique et en République Démocratique du Congo. Les charançons (*Sitophilus oryzae* L., *Sitophilus granarius* L. et *Sitophilus zeamais* Motsch.), le grand capucin du maïs (*Prostephanus truncatus* Horn.), le capucin des grains (*Rhizopertha dominica* Fab.), Trogoderme du grain (*Trogoderma granarium* Everts.), (*Tribolium castaneum* Herbst., *Tribolium confusum* Jacquelin du Val.) et parfois l'alucite (*Sitotroga cerealella* Olivier.), Pyrale des amandes (*Ephesia cautella* Zeller.), Pyrale des fruits secs (*Plodia interpunctella* Huebner.) Pyrale du riz (*Carcyra cephalonica* Stainton.) sont les plus importants insectes ravageurs des céréales stockées dans le maïs grain (Delobel et Tran, 1993 ; Gwennir *et al.*, 1996 et Kéita *et al.*, 2001).

Les avantages offerts par les méthodes de protection biologique avec des molécules allélochimiques végétales résident dans l'absence de risques toxicologiques, écotoxicologiques : bioaccumulation et bioamplification au niveau des maillons de chaînes trophiques, sélection de souches résistantes, pollution de l'environnement et contamination durable des eaux, des airs, des sols et sous sols. Ces moyens de défense biologique consistent, entre autres :

1. en la résistance de la plante hôte contre les différentes agressions ;
2. en protection biologique avec utilisation des plantes à effets insecticides ;
3. et, enfin en la manipulation de l'environnement et de l'insecte ravageur (Kossou et Aho, 1993).

Ainsi, le système à action synergique des composés d'origine végétale est un système écologiquement sain, socialement équitable et économiquement fiable,

un système grâce auquel les dégâts causés par les insectes sont prévenus par l'utilisation des facteurs naturels qui limitent la croissance des populations de ces insectes (Seck, 1996 et Tripathi *et al.*, 2001). Leur activité peut varier en fonction des stades du cycle de vie d'un insecte (Regnault-Roger, 2002). De même les œufs, les larves, les nymphes et les adultes des coléoptères, *Tribolium castaneum* Herbst et *Sitophilus zeamais* présentent une mortalité qui dépend de la concentration de l'extrait d'espèce végétale utilisée (Ho *et al.*, 1996).

Les molécules allélochimiques végétales appartiennent aux différents métabolites secondaires, à savoir les triterpènes, les stéroïdes, les polyphénols (les tanins), les alcaloïdes et les composés azotés ou les glucoses. Ces molécules sont facilement biodégradables par voie enzymatique étant donné qu'aucun phénomène d'amplification biologique n'a été décrit (Isman, 2002 et Hill *et al.*, 2003). Les composés allélochimiques végétaux ne développent que peu de toxicité pour les vertébrés à sang chaud et aquatiques sont régulièrement consommés en alimentation (Ogendo *et al.*, 2004). Les recherches menées en vue d'étudier l'action insecticide de certaines plantes sur de nombreux insectes qui ont une importance économique ou agricole ont révélé des effets destructeurs et inhibiteurs de croissance des insectes et aussi des effets répulsifs et anti-appétents. Ces études ont été réalisées sur des plantes utilisées localement comme épice, condiment, aromatique et comme thérapeutique en médecine traditionnelle.

3.2.3 Matériel et méthodes

Les différents matériels ont été utilisés pour aboutir aux résultats de l'évaluation des activités bioinsecticides d'origine végétale et la résistance des variétés des grains de maïs en conservation en régions tropicales.

3.2.3.1. Matériel biologique et insecticide chimique

Les matériels biologiques et produits phytosanitaires nous ont aidé dans la recherche des résultats de notre étude sur l'évaluation des activités bioinsecticides d'origine végétale vis-à-vis des variétés de maïs pour le contrôle de *Sitophilus zeamais* Motschulsky.

A) Matériel biologique

a) Insecticides d'origine végétale

Les plantes : *T. riparia*, *V. amygdalina* et *C. citratus* ont constitué le matériel végétal de cette expérience. Les principes et les modalités d'obtention des formulations en poudre étaient les mêmes que ceux de la première étude.

b) Cultivars et lignée de maïs

Les cultivars synthétiques Samaru, hybride ZP 800, Kasai 1 et la lignée de L 55 ont été retenus pour notre étude en provenance de l'INERA/M'vuazi. Les 5 g de poudres pour 50 g de grains de maïs étaient prélevés après le triage et le pesage à la balance de précision de marque Scoxet.

Pour un total de 60 pots en plastique, il y a 3.000 g de maïs pour l'expérimentation. Ces pots ont été fermés hermétiquement et placés en conditions idéales au laboratoire de chimie à l'Université Pédagogique Nationale.

c) Insecte ravageur

L'élevage était effectué sur les grains de maïs au laboratoire d'entomologie fondamentale et appliquée de l'Institut National de Recherches Biomédicales (INRB). Nous avons récupéré les charançons après le tamisage et le triage et, étant prêts pour être infestés dans les pots de maïs.

B) Insecticide chimique

Dans cette étude comparative, nous nous sommes servi de l'insecticide chimique, actellic à la dose 0,025 g/50 g de maïs par pot. L'actellic est un organophosphoré : pirimiphos-méthyle conseillé, d'usage plus courant à l'heure actuelle en stockage des produits de récolte. La quantité d'application recommandée est, pour un produit du commerce, de 50 g par 100 kg de denrées alimentaires (Gwinner *et al.*, 1996).

3.2.3.2 Méthodes d'évaluation des activités insecticides

Dans cette partie, il a été question de préparer les différents matériels notamment : le matériel végétal, le matériel animal et d'autres matériels dans la pratique pour l'obtention des résultats.

A) Infestation des maïs par *Sitophilus zeamais* Motschulsky.

Un couple de charançons du maïs a été utilisé comme matériel animal, car c'est le ravageur primaire des maïs en grains en conservation. Le sexe a été déterminé en observant la taille corporelle, la dimension et la surface du rostre observé à l'aide de la loupe binoculaire celles-ci ont été plus grosses et épaisses chez le mâle que la femelle.

B) Pesée et mise en pots

Chaque pot contenait 50 g de maïs traité à l'actellic à la dose de 0,025 g et aux poudres végétales à la dose de 5 g. La poudre végétale a été appliquée à une dose de poudres de 5 g/50 g des grains de maïs correspondant à un dixième du poids des produits vivriers (grains de maïs) à conserver (Kolama *et al.*, 2008). Les insectes étaient mis dans les pots en plastique de façon à ce qu'ils soient libres de tout mouvement à l'intérieur de chaque unité expérimentale.

C) Dispositif expérimental

Le dispositif en blocs avec split-plot a été utilisé dans ce cas (Dagnelie, 1986). Pour notre expérience, les parcelles principales étaient constituées de trois variétés et d'une lignée de maïs et des sous-parcelles avec les produits phytopharmaceutiques, répétés trois fois. La répartition des unités expérimentales est réalisée en deux temps correspondant aux deux variables : les grains de maïs et les produits phytosanitaires et répartis au hasard indépendamment des variétés et de la lignée des maïs.

D) Traitements

Les principales parcelles étaient constituées de trois cultivars et d'une lignée de maïs : le Kasai 1 (V₄), le Samaru (V₁), ZP 800 (V₃) et L 55 (V₂). Les sous-parcelles ont subi les traitements insecticides : *T. riparia* (T₃), *V. amygdalina* (T₂), *C. citratus* (T₁), Actellic (T₄) et témoin (T₀).

- a) Traitement 0, (T₀) : pot témoin avec 50 g de grains de maïs + 10 *S. zeamais* adultes, sans traitement phytosanitaire afin d'évaluer la tolérance du maïs ;
- b) Traitement 1, (T₁) : traité avec 5 g de *C. citratus* avec 50 g de maïs + 10 *S. zeamais* stade d'imagos. Il est question d'évaluer l'action insecticide de la plante sur les grains de maïs ;
- c) Traitement 2, (T₂) : traité avec 5 g de *V. amygdalina* avec 50 g de maïs + 10 *S. zeamais*. L'interaction de l'effet bioinsecticide et la tolérance des maïs vis-à-vis de *S. zeamais* pour évaluer l'action synergique de ces composés ;
- d) Traitement 3, (T₃) : traité avec 5 g de *T. riparia* avec 50 g de maïs + 10 *S. zeamais*. L'activité bio insecticide en association avec la tolérance des grains de maïs permettront de déterminer diverses catégories de pertes ;
- e) Traitement 4, (T₄) : traité avec 0,025 g d'actellic 25 avec 50 g de maïs + 10 *S. zeamais*. L'insecticide de synthèse était utilisé pour comparer les effets bioinsecticides d'origine végétale comme alternative.

Pour évaluer l'efficacité des bioinsecticides d'origine végétale de chaque échantillon de 50 g de maïs, les grains de maïs étaient soigneusement mélangés avec les différentes formulations en poudre de 5 g susmentionnées, excepté le témoin. Une formulation de dose équivalente à un dixième du poids du produit alimentaire à conserver (Kolama, *et al.*, 2008). En appliquant la méthode statistique, les données obtenues ont été traitées avec le programme informatique du logiciel Statistix 8.

E) Calcul du pourcentage des pertes de poids de maïs

L'évaluation du pourcentage des pertes de poids (B%) était faite suivant la formule utilisée respectivement par Adams (1976) ; Adams et Schulten (1978) et Anonyme (1986). D'autres auteurs (Cowley *et al.*, 1980 et Raboud *et al.*, 1984) définissent un coefficient de perte spécifique **K** par lequel on multiplie le pourcentage d'attaques (**A%**) pour obtenir le pourcentage des pertes de poids (**B%**).

$$B\% = K \times A\%$$

- ❖ Maïs avec charançons (*Sitophilus zeamais* Motschulsky), le coefficient de perte spécifique est de : $K = 0,116$

L'évaluation du pourcentage d'attaques des grains de maïs a été calculée par la formule de Pantenius (1988) et de Gwinner *et al.* (1996) qui définissent le pourcentage d'attaques de maïs égrené en conservation (**A%**). Pour étudier le pourcentage d'attaques par *Sitophilus zeamais*, la formule appliquée dans cette étude était celle-ci :

$$A\% = \frac{Na}{Ns + Na} \times 100$$

Légende :

- **Na** = nombre de grains attaqués (nombre de grains de maïs troués)
- **Ns** = nombre de grains sains (nombre de grains de maïs non troués)
- **Ns + Na** = nombre total de grains de maïs (troués et non troués)

F) Variables observées et mesurées

Les observations sur l'importance économique causée par les ravageurs ont été estimées par la perte de poids, le pourcentage d'attaques et le pourcentage de pertes de poids de maïs : les variables agronomiques observées. Les mesures entomologiques seront évaluées par l'indice de mortalité des charançons.

1) Mesures entomologiques

Nous avons procédé bloc par bloc et traitement après traitement pour pouvoir déterminer les mesures entomologiques en renversant tout le contenu de chaque pot sur un tissu blanc au laboratoire de chimie de l'Université Pédagogique Nationale. Pour faciliter l'observation et le dénombrement des charançons à l'œil nu, cette opération devait se faire à l'abri d'un coup de vent. Cela nous a permis d'obtenir l'élément ci-après :

- 1.a) Le nombre moyen d'insectes morts pour chaque variété et lignée de maïs ; ce qui permet d'évaluer l'effet insecticide des plantes (toxicité, inhibiteur de croissance de l'insecte, etc.) par le nombre d'insectes tués ou morts ;

2) Estimation de l'importance économique et agricole

Pour parvenir à estimer les dommages (types de pertes ou déficit social et économique) causés par le *S. zeamais* pour les grains de maïs, nous avons également procédé bloc par bloc et traitement après traitement en évaluant les différentes variables ci-dessous :

- 2.a) Le nombre moyen de grains troués (fente de sortie) par *S.zeamais* ; cette variable exprime les dégâts causés par ce charançon ;
- 2.b) Le nombre moyen de grains de maïs sains, pour cette variable ; se manifestent ; la tolérance de maïs et l'effet répulsif et/ou antiappétant ;
- 2.c) Le poids moyen des grains troués ; ce paramètre donne une idée sur le poids des maïs endommagés, élément essentiel dans le calcul des pertes de poids ;
- 2.d) Le poids moyen des grains sains, le nombre de grains non attaqués par les ravageurs, prise en compte dans le calcul des pertes de poids ;
- 2.e) Le pourcentage d'attaques, c'est un indicateur primaire de types de pertes dans les entrepôts en régions tropicales humides et dans le sahel;

2.f) Le pourcentage des pertes de poids, c'est un paramètre qui permet de faire l'évaluation de diverses catégories de pertes : quantitatives et qualitatives.

Le pourcentage d'attaques et le pourcentage des pertes de poids ont été calculés et obtenus à partir des données brutes de notre expérience sur base des formules mathématiques.

3.2.4 Résultats

L'observation des dommages causés par l'espèce *S. zeamais* Motsch. sur les maïs en conservation et la protection des formulations en poudre végétale phytosanitaires ont été effectuées et suivies au laboratoire de chimie de l'Université Pédagogique Nationale à partir du 17 juin jusqu'au 20 septembre 2013.

3.2.4.1 Effets insecticides des plantes et tolérance de maïs contre *S. zeamais*

Des mesures entomologiques effectuées sur la mortalité de *Sitophilus zeamais* en conservation des grains de maïs sous l'action des produits phytosanitaires sont reprises aux différents tableaux qui suivent.

Les résultats du nombre moyen d'insectes tués par les effets de bio-insecticides d'origine végétale et insecticide chimique sur les grains de maïs sont décrits dans le tableau immédiatement ci-dessous.

Tableau 3.2.1 Nombre moyen des charançons morts

Traitements	Samaru	L 55	ZP 800	Kasaï 1
Témoin(T ₀)	3±1.53c*	4±0.57b	6±1.00b	7±2.90b
<i>C. citratus</i> (T ₁)	17±8.50a	10±5.29a	13±2.52a	10±4.04b
<i>V. amygdalina</i> (T ₂)	10±16.26b	9±3.51a	10±4.36a	9±3.52b
<i>T. riparia</i> (T ₃)	9±4.36b	11±4.00a	10±3.06a	8±2.52b
Actellic (T ₄)	10±1.00b	10±0.58a	11±4.62a	11±12.90b
Moyenne	9,9167			
lsd _(0,05) Variété	9,298			
lsd _(0,05) Traitement	3,869			
lsd _(0,05) Variété x Traitement	7,739			

Légende

* Dans une colonne, les nombres moyens de charançons suivis d'une même lettre ne sont pas statistiquement différents selon le test de Tukey Kramer HSD au seuil de (p=0,05).

Les moyennes des blocs et variétés de maïs ne présentent pas de différences significatives entre elles après les analyses de la variance et la comparaison multiple des moyennes (lsd). Les produits phytosanitaires n'ont pas présenté des moyennes des charançons morts et statistiquement différentes entre eux, mais il a été observé des différences significatives avec celles des témoins pour la variété ZP 800, Kasaï 1 et la lignée L 55. Mais aucune différence statistique n'a été observée entre les effets des bioinsecticides végétaux, de l'insecticide chimique et du témoin.

Les produits phytosanitaires à effets bioinsecticides d'origine végétale et l'insecticide chimique ont eu presque le même niveau d'action insecticide sur la vie de l'insecte ravageur. Ce qui confirme ainsi l'efficacité de l'effet insecticide des molécules allélochimiques végétales sur la mortalité de *S. zeamais*. Il s'est manifesté aussi des différences significatives entre les moyennes des composantes Samaru

et *C. citratus* avec celles de Samaru et témoin. La moyenne de la variété Kasai 1 traitée à l'insecticide actellic a été statistiquement différente de l'interaction variété Kasai 1 traitée au *C. citratus*, au *V. amygdalina* et au témoin. Cela justifie l'action bio insecticide de *C. citratus* et la tolérance de la variété Kasai 1 vis-à-vis de l'insecte ravageur *Sitophilus zeamais*.

3.2.4.2 Effets insecticides des plantes et tolérance des maïs sur les types de pertes

L'évaluation de l'importance économique et agricole causée par l'insecte ravageur, *Sitophilus zeamais* Motsch. en conservation des grains de maïs pendant la conservation

1) Moyennes des grains de maïs portant des trous de ponte (fentes de sortie)

Les moyennes du nombre de grains de maïs présentant des trous de ponte pendant la conservation sont consignées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 3.2.2 Nombre moyen de grains de maïs troués après la conservation

Traitements	Samaru	L 55	ZP 800	Kasai 1
Témoin (T ₀)	110±21.50a*	134±4.00a	89±32.15a	47±4.04a
<i>C. citratus</i> (T ₁)	75±50.65c	73±11.06c	32±10.12c	18±1.53c
<i>V. amygdalina</i> (T ₂)	92±95.97b	76±29.40c	44±5.29bc	24±4.02bc
<i>T. riparia</i> (T ₃)	85±48.69b	103±32.15b	46±12.01b	35±5.00b
Actellic (T ₄)	0±0.00d	0±0.00d	0±0.00d	1±1.00d
Moyenne	55,917			
lsd _(0,05) Variété	39,529			
lsd _(0,05) Traitement	13,682			
lsd _(0,05) Variété + Traitement	27,364			

Légende :

* Pour chaque colonne, les moyennes portant des lettres identiques ne sont pas statistiquement différentes suivant le test de Tukey Kramer au seuil de (P < 0,05).

Il existe des différences significatives entre la lignée L 55 et la variété ZP 800 ainsi qu'entre les variétés Samaru et Kasaï 1. Le lsd a fait ressortir des différences significatives entre les moyennes de témoin et des insecticides d'origine végétale ainsi que celles d'insecticide chimique. Il existe des différences significatives entre les moyennes de bioinsecticides d'origine végétale, et il se manifeste aussi des différences significatives entre les bioinsecticides végétaux et l'insecticide chimique. Pour la variété Samaru traitée par *C. citratus*, *V. amygdalina*, *T. riparia* et actellic, il s'est manifesté des moyennes statistiquement différentes à celle de la variété Samaru avec le témoin. La lignée L 55 qui s'est montrée sensible, traitée à l'actellic a manifesté des moyennes statistiquement différentes de L 55 traitées avec *C. citratus*.

L'action bioinsecticide végétale et insecticide de synthèse vis-à-vis de *S. zeamais* ont diminué le nombre moyen de trous de ponte. L'interaction des variétés Kasaï 1 et témoin a eu des moyennes statistiquement différentes de celle de la variété Samaru et la lignée L 55 non traitée aux produits phytosanitaires (témoins). Les résultats indiquent la tolérance de la variété Kasaï 1, qui pourrait être due à la modification de la composition biologique, biochimique et physicochimique des grains de maïs : augmentation de la teneur en protéines et à la forte dureté de l'enveloppe des graines de maïs.

2) Moyennes des grains de maïs ne portant pas de trous de ponte

Le nombre moyen de grains de maïs ne présentant pas de trous de ponte après la conservation est consigné dans le tableau 3.2.3 ci-dessous.

Tableau 3.2.3 Nombre moyen des grains de maïs sains

Traitements	Samaru	L 55	ZP 800	Kasaï 1
Témoin (T ₀)	40±21.55d*	16±3.00d	76±31.32d	123±4.04c
<i>C. citratus</i> (T ₁)	81±50.05b	73±9.71b	117±10.85b	151±5.00b
<i>V. amygdalina</i> (T ₂)	72±52.09bc	46±30.23c	106±4.36c	145±1.53b
<i>T. riparia</i> (T ₃)	67±52.37c	38±18.19c	103±12.50c	135±4.51b
Actellic(T ₄)	149±0.29a	149±1.09a	148±1.53a	172±1.73a
Moyenne	98,167			
lsd_(0,05) Variété	41,053			
lsd_(0,05) Traitement	11,868			
lsd_(0,05) Variété + Traitement	27,737			

Légende

* Dans une colonne, les nombres moyens de grains sains suivis d'une même lettre ne sont pas statistiquement différents selon le test de Tukey Kramer HSD au seuil de $p=0,05$.

La variété Kasaï 1 a été significativement différente de la variété Samaru et lignée L 55. Tandis qu'il n'y a pas eu de différences significatives entre les variétés Kasaï 1 et ZP 800 ainsi qu'entre Samaru et la lignée L 55. Au niveau des produits insecticides, il y a eu des moyennes statistiquement différentes entre les produits phytosanitaires et témoin, ainsi que les bioinsecticides entre eux et aussi avec l'insecticide de synthèse au seuil $p=0,05$. La formulation en poudre foliaire *C. citratus* a présenté plus de grains de maïs sains que *V. amygdalina* et *T. riparia* manifestant ainsi une action insecticide positive.

Quant aux interactions entre la tolérance de maïs et les effets insecticides, il a existé des différences significatives entre les moyennes au seuil $p=0,05$. La lignée L 55 a présenté des différences significatives entre les moyennes de *C. citratus* et d'actellic et celles de témoin. *C. citratus* a donné des résultats satisfaisants par rapport au *V.amygdalina* et au *T. riparia* avec une action insecticide statistiquement plus positive que pour la lignée L 55. L'interaction entre la lignée L 55 et témoin avec la lignée L 55 et *C.citratus* s'est montré différemment significative au seuil de probabilité 0,05. Ce qui indique l'efficacité et l'effet insecticide de *C.citratus* supérieurs aux autres bioinsecticides et témoin. Il y a une action synergique des composés d'origine végétale : effets insecticides et la tolérance de maïs vis-à-vis de l'insecte ravageur.

3.2.4.3 Effets insecticides d'origine végétale sur la perte de poids des maïs

L'estimation des dégâts causés par *Sitophilus zeamais* Motschulsky pendant la conservation et qui ont occasionné des pertes de poids des grains de maïs, et influençant ainsi les déficits économique et social.

1) Moyennes de poids des grains de maïs portant des trous

Le tableau 3.2.4 présente les pertes de poids en grammes des grains de maïs avec des fentes de sortie après les trois mois de conservation à l'Université Pédagogique Nationale (UPN).

Tableau 3.2.4 Poids moyen des grains de maïs ayant des trous de ponte

Traitements	Samaru	L 55	ZP 800	Kasaï 1
Témoin (T ₀)	36,00±8.76a*	40,00±2.65a	32,87±4.92a	14,33±2.81a
<i>C. citratus</i> (T ₁)	16,33±10.40b	25,67±11.15b	11,25±2.81c	6,33±1.52b
<i>V. amygdalina</i> (T ₂)	22,90±14.01b	33,50±4.92a	15,33±2.08bc	9,67±2.51ab
<i>T. riparia</i> (T ₃)	24,17±11.01b	33,17±5.79a	21,00±5.56b	12,00±2.6ab
Actellic (T ₄)	0±0.00c	0±0.00c	0±0.57d	0±0.26c
Moyenne	18,983			
lsd_(0,05)Variété	12,071			
lsd_(0,05)Traitement	7,970			
lsd_(0,05)Variété + Traitement	15,940			

Légende

* Pour chaque colonne, les moyennes des grains de maïs ayant des trous portant des lettres identiques ne sont pas statistiquement différentes suivant le test de Tukey Kramer au seuil de $P < 0,05$.

La variété Kasaï 1 avec des moyennes des grains ayant des trous diffère significativement de la variété Samaru et de la lignée L 55, tandis que les variétés Samaru, ZP 800 et la lignée L 55 ne sont pas statistiquement différentes entre elles. Les produits phytosanitaires à action insecticide ont présenté les moyennes des grains troués différemment significatives entre eux ainsi qu'au témoin. Il n'existe pas de différences significatives entre les moyennes des grains troués traités par les bioinsecticides d'origine végétale ; toutefois, les moyennes entre les grains troués traités aux bioinsecticides d'origine végétale et ceux traités par l'insecticide chimique se sont manifestées statistiquement différentes.

La variété Samaru traitée aux produits phytosanitaires a présenté des moyennes des grains ayant des trous statistiquement différentes au témoin au seuil de

probabilité 0,05. Mais cette différence n'apparaît pas statistiquement entre les moyennes des bioinsecticides d'origine végétale. Il s'est manifesté une différence significative entre les moyennes de poids des grains troués non traités : Samaru, L 55 et ZP 800 avec Kasai 1, qui se montre tolérante. Mais cette différence des moyennes de poids des maïs troués dans cette interaction n'existe pas entre Samaru, L 55 et ZP 800.

La comparaison des moyennes (lsd) de la variété Samaru non traitée aux bioinsecticides d'origine végétale (*C. citratus*, *V. amygdalina* et *T. riparia*) et à l'insecticide de synthèse (actellic) a fait ressortir des différences significatives au seuil de probabilité de 0,05. Néanmoins, cette différence n'existe pas entre bioinsecticides.

2) Moyennes de poids des grains de maïs sains

Les résultats du poids moyen des grains de maïs non troués par les insectes ravageurs sous l'effet des produits phytosanitaires sont décrits dans le tableau 2.3.5

Tableau 3.2.5 Poids moyen des grains de maïs sains après la conservation

Traitements	Samaru	L 55	ZP 800	Kasai 1
Témoin (T ₀)	13,00±8.38d*	9,33±2.08d	17,17±0.28d	35,67±2.08c
<i>C. citratus</i> (T ₁)	33,33±12.01b	23,33±10.21b	38,67±3.05b	43,50±3.12ab
<i>V. amygdalina</i> (T ₂)	26,33±9.71bc	15,00±4.35cd	34,00±1.17bc	40,50±1.80bc
<i>T. riparia</i> (T ₃)	25,5±10.96bc	16,33±6.11cd	28,33±5.13c	38,00±2.65bc
Actellic (T ₄)	49,50±1.25a	49,50±0.50a	49,83±0.50a	49,50±0.50a
Moyenne	33,683			
lsd_(0,05) Variété	21,445			
lsd_(0,05) Traitement	7,876			
lsd_(0,05) Variété + Traitement	15,753			

Légende :

* Pour chaque colonne, les moyennes portant des lettres identiques ne sont pas significativement différentes suivant le test de Tukey Kramer au seuil de ($P < 0,05$).

Les différences significatives n'apparaissent pas entre les différents blocs tandis que cette différence apparaît entre les différentes variétés de maïs après les analyses de la variance. L'insecticide chimique et les bioinsecticides végétaux diffèrent significativement du témoin. Les insecticides d'origine végétale et l'actellic marquent de différences significatives entre eux. Il se manifeste des différences significatives entre les interactions des produits phytosanitaires et les variétés de maïs ainsi qu'entre les différences des variétés de maïs traitées aux produits phytopharmaceutiques.

L'interaction entre les variétés de maïs et les produits phytopharmaceutiques a présenté des moyennes statistiquement différentes. La variété ZP 800 traitée aux bioinsecticides, actellic et témoin a donné des différences significatives dans leur interaction vis-à-vis du ravageur. Cette différence significative existe entre l'actellic, les bioinsecticides et aussi le témoin. La variété ZP 800 traitée au *C. citratus* diffère significativement de l'actellic et du témoin. Tandis que la lignée L 55 traitée au *C. citratus* est différemment significative d'autres bioinsecticides, d'insecticide de synthèse et du témoin. La variété Samaru et le témoin comparé à la variété Samaru traitée par *C. citratus* a présenté des moyennes statistiquement différentes, de même que la variété Samaru et témoin comparativement à la variété Samaru traitée à l'actellic.

3) Pourcentage d'attaques *Sitophilus zeamais* Motschulsky vis-à-vis des maïs

L'évaluation du pourcentage des attaques des grains de maïs par *Sitophilus zeamais* Motsch. après la conservation du 01 juillet au 31 septembre 2013.

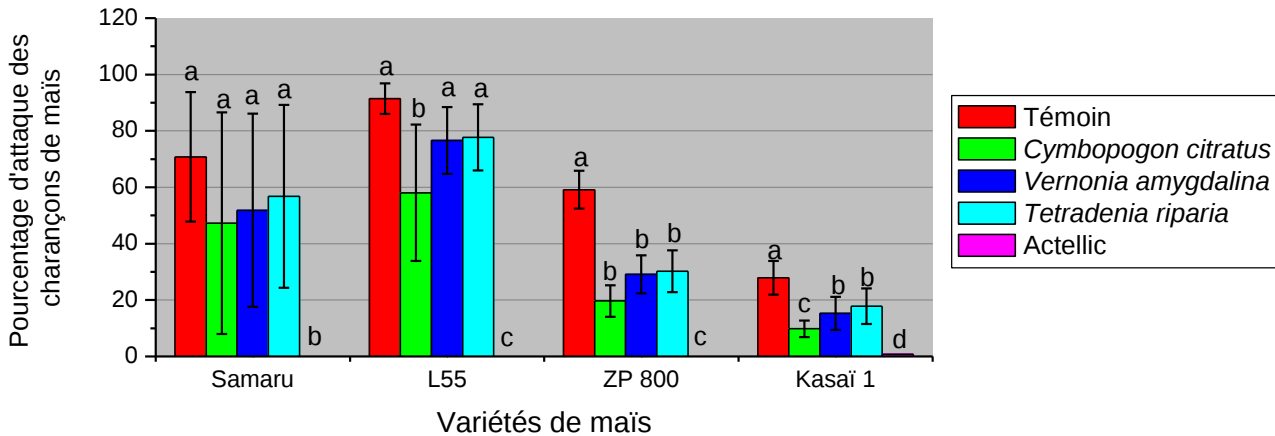


Figure 3.2.1 Pourcentage d'attaques de charançon du maïs vis-à-vis de maïs

Le pourcentage d'attaques a été plus sévère sur la lignée L 55 (91,156%) non traitée aux produits phytosanitaires tandis que la variété Kasai 1 non aussi traitée a été plus tolérante avec (27,586%). La variété ZP 800 traitée par *C. citratus* avait un pourcentage d'attaques de l'ordre de 20,270% alors que la variété Samaru traitée avec *C. citratus* avait un pourcentage d'attaques de 47,916%. Il y a eu beaucoup plus de pourcentage d'attaques sur la variété Samaru vis-à-vis de *S. zeamais*. En comparant les deux variétés de maïs, on peut faire ressortir le concept de résistance génétique associé à l'effet bioinsecticide comme action synergique des composés d'origine végétale qui est une stratégie en protection des plantes et des produits de récoltes.

Les produits phytosanitaires ont présenté des pourcentages d'attaques significativement différents par rapport à leur nature biologique et chimique, à la composition de leurs métabolites secondaires. L'actellic, un insecticide chimique de stocks avec un pourcentage d'attaques plus faible (0) avec la variété Kasai 1 et suivi de *C. citratus* qui a signalé un pourcentage d'attaques de 9,942%.

4) Evaluation du pourcentage des pertes de poids des grains de maïs

L'évaluation du pourcentage des pertes de poids en grammes des maïs égrenés après conservation est présentée dans la figure 3.2.2. en histogrammes

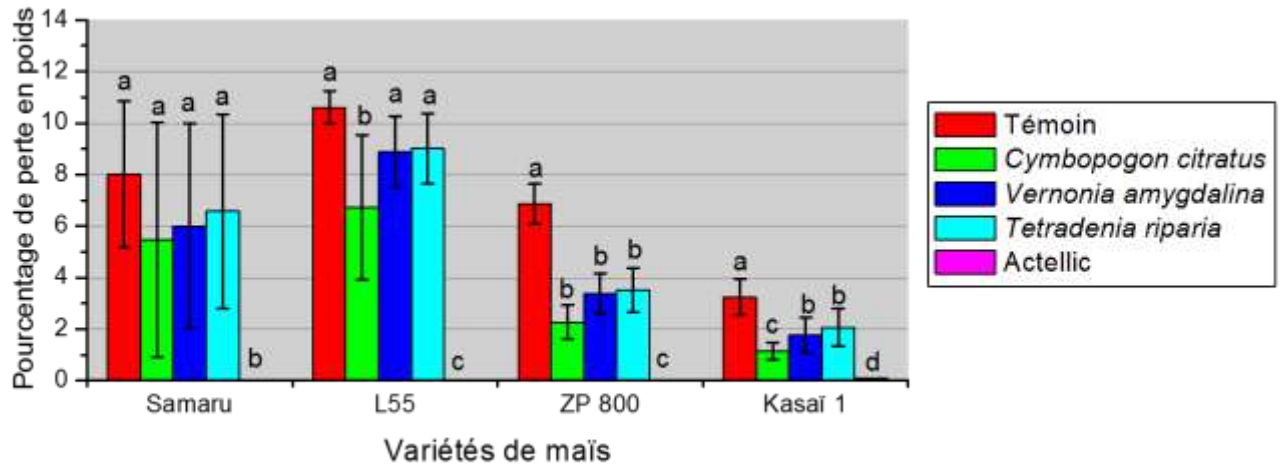


Figure 3.2.2 Pourcentage des pertes du poids des grains de maïs en grammes

Le pourcentage des pertes de poids est très faible pour la variété Kasai 1 avec 3,20% pour le témoin non traité par les produits phytopharmaceutiques. Comparativement au cultivar Kasai 1, la lignée L 55 a affiché moins d'attaques avec le pourcentage des pertes de poids le plus élevé (10,57%). Ce qui traduit l'effet tolérant de la variété Kasai 1 vis-à-vis de *Sitophilus zeamais* Motsch.

Le bio insecticide *C. citratus* indiqué le pourcentage des pertes de poids en grammes le plus faible pour le cultivar Kasai 1 et la lignée L 55 de maïs variant de 1,153 à 6,636%. Les bioinsecticides d'origine végétale tous subissent les pourcentages de pertes de poids très proches de l'insecticide chimique nettement éloignés du témoin.

3.2.5 Discussion partielle

Les produits phytopharmaceutiques d'origine végétale et leurs synthèses sont repris dans le tableau 3.2.1 des moyennes du nombre de charançons morts les plus faibles sur le cultivar Kasai 1 que sur d'autres variétés de maïs. Il y a une action synergique combinée additive des composés d'origine végétale et de la tolérance de maïs capables d'améliorer les stratégies de gestion des bioagresseurs. Beaucoup de travaux ont fait référence aux attaques et à la déperdition des stocks des grains de maïs occasionnés par les charançons, insectes ravageurs de l'embranchement des Arthropodes.

En étudiant les diverses catégories des pertes occasionnées par *S. zeamais* sur le maïs, Nansen et Meikle, (2002) et Nansen *et al.*, (2002) ont mené des essais sur les possibilités de migration du *S. zeamais* et du *P. truncatus* dans le maïs et ont pu mettre en évidence leur mobilité, leur rapidité de pénétration et leur voracité dans les régions tropicales. Une étude modélisant les types de dégâts entre *P. truncatus* et le *S. zeamais* dans des magasins en milieu rural en Afrique de l'Ouest a démontré la très grande voracité du *S. zeamais*, voracité que les auteurs de cette étude imputent à son régime alimentaire. On constate aujourd'hui que leurs résultats corroborent nos résultats enregistrés sur les dommages causés par *S. zeamais* sur le maïs égrené en conservation dans les provinces de Kinshasa et du Kongo Central en RD Congo.

Les résultats obtenus ont révélé, d'une part, des différences significatives au seuil de probabilité de 0,05 entre les produits phytopharmaceutiques et le témoin et, d'autre part, des différences significatives entre les bioinsecticides d'origine végétale et l'organophosphoré, actellic 2% insecticide chimique. Les molécules végétales à action insecticide et l'insecticide chimique ont diminué l'émergence, la survie et le développement du *S. zeamais*. La survie des adultes a été perçue différemment dans les milieux alimentaires utilisés par rapport à l'efficacité et aux effets insecticides de chaque produit phytopharmaceutique. Des effets similaires ont été observés sur le même genre d'insecte *Sitophilus* et le même ordre d'insecte Coléoptère au cours des études de toxicité par contact des insecticides d'origine végétale effectuées par Tripathi *et al.*, (2001) en Inde et sur *Callosobruchus maculatus* (Tapondjou *et al.*, 2000) au Togo et (Lenting, 2000) au Bénin. Dans ce contexte, Golop *et al.* (1999),

Kumar(2002) et Amevoin *et al.*(2005). ont affirmé que chaque plante est un cas particulier qu'il faut investiguer à cause des effets insecticides variables en fonction des zones de collecte et des stades phénologiques ainsi que des étapes évolutives des espèces d'insectes.

Dans la protection du niébé (en phase de floraison) contre *Megalurothrips sjostedti* Trybom (Thripidae), Kiendrebeogo *et al.* (2006) ; Arnason *et al.*, (2008) et Auger *et al.* (2004) ont étudié l'efficacité du mélange les extraits des plantes à base de quelques produits (*Gmelina arbora*, *Eucalyptus citriodora*, *Azadirachta indica*, *Hyptis suaveolens*, *Vernonia amygdalina* et *Cymbopogon citratus*) et ont établi que ces produits d'origine végétale sont similaires en efficacité de traitement des insecticides de synthèse. Boeke *et al.*, (2004) ont relevé une action répulsive et toxique de *Tephrosia vogelii* Hook f. sur *Callosobruchus maculatus* alors que *Biumea aurita* (L) DC, qui ne contient aucune toxicité possède un fort pouvoir répulsif. Au Congo Brazzaville, Delobel et Malonga (1987) ont affirmé que *Chonopodium ambrosioides* L. possède des propriétés insecticides réelles contre le bruche de l'arachide (*Caryedon serratus* Say.). Au Togo, Ketoh *et al.*, (2002) ont trouvé que *Cymbopogon shoenathus* et *Lavandula* sp. sont très toxiques sur les adultes de *C. maculatus* Fab. Kouakou (2004), dans ses travaux pour l'obtention Diplôme d'Etudes Approfondies en biologie végétale à l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar au Sénégal, a démontré le rôle de la protection biologique d'origine végétale vis-à-vis des ravageurs des stocks.

Les produits phytopharmaceutiques d'origine végétale ont joué un rôle prépondérant dans la protection biologique saine des produits post-récoltes en vue de la préservation de leurs qualité et quantité (Singh et Singh, 1992 ; Adams et Harman, 1977). Le cultivar Kasai 1 traité avec *C. citratus* a été le plus tolérant en ayant une moyenne de 17,00 grains troués alors que la lignée L 55 est considérée comme sensible et traitée au *C. citratus* ayant une moyenne de 84,33 grains troués. Dans leurs recherches, Dobie (1977) ; Ashoma (2006) et Ratnadas et Sauphanor, (1989) avaient stigmatisé la résistance de la variété du riz contre *Sitophilus oryzae* et *Sitophilus zeamais*. Le pourcentage d'attaques pour *C. citratus* avec Kasai 1 (9,94%) est inférieur à celui de L 55 (57,14%), avec des effets collatéraux sur le pourcentage des pertes de poids, soit 1,15% pour le Kasai 1 avec *C. citratus* et 6,63% pour L 55 avec

C. citratus. Enfin, la variété Kasai 1 est tolérante face à l'agressivité ou à la virulence de *S. zeamais*. Dans les régions tropicales, Anon (1969) et Amotabi (1994) étaient arrivés aux mêmes résultats en étudiant les attaques des Coléoptères sur les céréales et légumineuses. Les travaux de Philogène *et al.*, (2002) démontrent que les grains de maïs particulièrement riches en substances phénoliques et surtout en acide férulique sont moins susceptibles d'être attaqués par *Sitophilus zeamais* et *Prostephanus truncatus*. Betanzos (1988) a rapporté que les variétés anciennes du maïs d'origine mexicaine sont plus tolérantes à l'infestation des parasites et des prédateurs que les variétés améliorées.

3.2.6 Conclusion partielle

Les résultats de cette étude ont permis d'observer les activités insecticides des plantes en protection biologique du maïs égrené à Kinshasa et au Kongo central en République Démocratique du Congo. La variété Kasai 1 traitée avec *C. citratus* a révélé un pourcentage d'attaques de 9,94 et un pourcentage des pertes de poids négligeable de l'ordre de 1,15% en protection des produits en stockage. La poudre de *C. citratus* s'est révélée plus efficace que d'autres bioinsecticides tels que *T. riparia* et *V. amygdalina*. Les produits phytopharmaceutiques d'origine végétale ont manifesté leur efficacité pour assurer la protection du maïs avec un taux moyen d'infestation variant entre 9,94 à 17,91% comparativement au témoin avec 27,58% pour la variété de Kasai 1 tolérante. L'évaluation des effets insecticides des plantes à vertus pesticides ont favorisé l'obtention des résultats sur la dynamique des populations d'insectes ravageurs de stock. De nouvelles informations scientifiques, à savoir ; la mortalité d'insectes ravageurs, le nombre des trous de ponte de maïs égrené, les pourcentages d'attaques et de pertes de poids de maïs permettent de faire des composés allelochimiques une alternative à la lutte chimique.

Comparativement à l'organophosphoré, l'actellic 2% avec un pourcentage de pertes de poids de 0,07% pour la variété Kasai 1 ; la poudre de *C. citratus* s'est montrée aussi efficace avec un pourcentage de pertes de poids de 1,15% que d'autres bioinsecticides. *C. citratus* avec un nombre d'imagos morts plus élevés (16,67) et un pourcentage de pertes de poids de 1,15% au seuil de la perte économique très faible pour être pratiqué comme moyen biologique de protection saine combinée additive. En guise de recommandations pour garantir la réussite des produits conservés, en dehors de ces formulations en poudre d'origine végétale ou des variétés tolérantes, il faut mentionner les préalables pour une bonne conservation, à savoir une bonne récolte, un bon séchage (12 à 14% humidité relative), un bon battage, un triage rigoureux, un emballage hermétique, une observance des règles fondamentales d'hygiène et des propretés des bâtiments de stockage. Il serait souhaitable que des mesures prophylactiques, d'isolement des principes actifs de ces plantes dans la perspective d'améliorer leur utilisation. Enfin les tester d'abord aux conditions de laboratoire avant leur essai en milieu physique réel et, arriver afin à justifier les

bioinsecticides d'origine végétale comme des insecticides fiables de la troisième génération et une alternative en défense des cultures et produits en stock.

Figures d'entreposage et dénombrement de trous et d'insectes morts

Source : Ndjou Essaho, 2015



Figure3.2.3 Entreposage des pots infestés par *S. zeamais* avec des poudres foliaires



Figure 3.2.4 Observation et comptage des trous, des insectes morts et survivants



Figure 3.2.5 Dénombrement des trous et des insectes morts et survivants

Chapitre 4

Mise en évidence et caractérisation des métabolites secondaires à effets insecticides, test de rémanence et résidus toxiques des espèces végétales

Ce chapitre se rapporte à la mise en évidence, l'extraction et la caractérisation des métabolites secondaires synthétisant des molécules allélochimiques végétales à effets insecticides impliqués pour la gestion de charançon du maïs (*Sitophilus zeamais* Motschulsky) vis-à-vis des maïs sans persistance et ni résidus toxiques.

4.1 Résumé

En milieu clos, les composés allélochimiques végétaux sont des insecticides efficaces et compatibles pour le contrôle de nombreuses espèces d'insectes de stock de l'ordre des Coléoptères. Des extraits aqueux et organiques de trois espèces végétales ont présenté les polyphénols (quinones liées, flavonoïdes, quinones libres, tanins), les alcaloïdes (atropine, éphédrine, morphine), les stéroïdes (saponines), et les triterpènes (anthocyanes, leucoanthocyanes) qui ont des propriétés insecticides. Ces plantes ont exercé une toxicité parfois mortelle, un effet répulsif ou antiappétent et inhibant la croissance de l'insecte ravageur.

Cymbopogon citratus (DC.) Stapf, *Vernonia amygdalina* Del. et *Tetradenia riparia* L. ont indiqué dans certains paramètres les mêmes efficacités insecticides parfois avec des effets insecticides mortels vis-à-vis de l'espèce *Sitophilus zeamais* Motschulsky. que l'organophosphoré (l'actellic). Les extraits des décoctés de ces espèces végétales malgré leurs insecticides mortels n'étaient pas toxiques chez les souris après le test de toxicité et de rémanence. Ces plantes avec leur propriété insecticide ne présentent pas de danger toxique mortel pour les animaux à sang chaud.

Mots clés : Grains de maïs (céréales) en stockage, *Sitophilus zeamais* Motschulsky., métabolites secondaires, bio insecticides d'origine végétale, rémanence, effets résiduels toxiques.

4.2 Introduction

Les molécules allélochimiques végétales des métabolites secondaires sont souvent impliquées en protection de la plante productrice contre divers organismes tels que les agents pathogènes et les insectes ravageurs (Farr *et al.*, 2004). Ces molécules allélochimiques végétales sont très nombreuses et variées avec des actions insecticides diversifiées dans les 4 familles (substances phénoliques, terpénoïdes, stéroïdes, alcaloïdes et composés azotés). Certaines d'entre elles telles que atropine, cocaïne, ephédrine, saponines, limonoïdes, polyphénols, flavonoïdes, quinones, monoterpènes, sesquiterpènes et cucurbitacines sont largement distribuées tandis que d'autres comme les composés soufrés présents notamment chez les *Allium* ont une répartition plus restreinte (Regnault-Roger *et al.*, 2008). Dans les genres *Cymbopogon* (Poaceae), *Tithonia* (Asteraceae) et *Vernonia* (Asteraceae), on trouve principalement des substances phénoliques représentant un groupe de métabolites secondaires complexes et comportant plusieurs familles : dérivés des acides aminés benzoïques, cinnamiques, coumarines, flavonols, flavones, isoflavones, anthocyanes, aurones, chalcones et stilbènes. Certains sont précurseurs de polymères pariétaux comme la lignine et la subérine. D'autres tels que les tannins condensés et les tannins hydrolysables sont des polymères intracellulaires. Les familles des stéroïdes qui impliquent des molécules telles que l'azadirachtine et la saponine provoquent la lyse des cellules ; elles perturbent et inhibent donc la croissance et le développement de nombreux ravageurs phytophages (Noudjou, 2000) et (Regnault-Roger *et al.*, 2005).

Outre leur implication dans divers processus physiologiques des plantes, les composés phénoliques jouent un rôle très important dans la protection des cultures et des denrées alimentaires stockées. Leur intérêt comme bio pesticides végétaux en potentiels allélochimiques nous pousse à mieux cerner les mécanismes biologiques, biochimiques, biophysiques qu'ils exercent dans la résistance des plantes et des produits post-récoltes. Aussi la connaissance de leur mode d'intervention dans le phénomène de résistance des plantes et de leur mécanisme d'action vis-à-vis des micro-organismes phytopathogènes et des bioagresseurs est-elle d'une grande utilité dans la pratique de la valorisation de ces molécules végétales en tant que produits phytosanitaires biologiques. Les alcaloïdes et les composés azotés qui font intervenir les molécules allélochimiques végétales comme l'atropine, la cocaïne, l'éphédrine, la

morphine et la nicotine sont des répulsifs puissants, mortels pour de nombreux insectes ravageurs.

Les activités pharmacologiques des plantes varient non seulement d'une espèce à l'autre (George, 2009), mais également à l'intérieur d'une espèce selon l'organe, la famille, le stade de développement et les conditions du milieu (Djossou, 2006) et (Ndju-Essaho et Mbayo, 2017a). Dans cette étude, les composés allélochimiques végétaux des trois espèces botaniques ont été testés sur le ravageur, de l'ordre de Coléoptère *Sitophilus zeamais* Motschulsky.

Les métabolites secondaires sont des substances naturelles contenues dans la plante mais qui ne sont pas essentielles pour la croissance et le développement de la plante et, dans certains cas, leurs fonctions et leurs rôles ne sont même pas connus. Les métabolites secondaires sont fondamentalement différents des métabolites primaires qui ont la valeur nutritive d'une plante : cela dépend de la quantité et de la qualité des substances alimentaires qu'elle contient. Les métabolites primaires (protéines, glucoses,) influencent la sélection des plantes par les ravageurs, les insectes phytophages, par exemple.

L'utilisation des insecticides phytochimiques s'inscrit naturellement dans ce dernier cadre de protection des cultures et produits post-récoltes puisqu'ils possèdent, par rapport aux pesticides organiques de synthèse, plusieurs avantages écologiques liés à leur nature intrinsèque.

- Les molécules issues du métabolisme secondaire, revêtent une spécificité d'action. De ce fait, elles provoquent des atteintes limitées des organismes non cibles. Outre l'impact écologique positif (préservations des auxiliaires et des niveaux supérieurs des chaînes trophiques), elles sont rarement toxiques pour les mammifères et l'homme ;
- Du fait de cette spécificité, elles agissent à faibles doses sur l'organisme cible ;
- Biosynthétisées, elles sont biodégradables, fréquemment avec des demi-vies ;

- Appartenant à différentes familles chimiques (majoritairement substances polyphénoliques, stéroïdes, terpénoïdes, alcaloïdes), elles procèdent de ce fait du mécanisme d'actions différentes limitant, dans le cadre d'un emploi non continu, les cas de résistance chez les insectes ravageurs.

4.3 Matériel et méthodes

Dans la réalisation de cette étude, nous avons fait usage de plusieurs matériels dont notamment le matériel biologique, les solvants, les réactifs, les verreries, et divers matériels de laboratoire nous ont aidé à aboutir aux résultats escomptés.

4.3.1 Matériel

4.3.1.1 Matériel d'évaluation de la toxicité et activités résiduelles

Le matériel biologique est constitué des souris blanches utilisées comme animaux de laboratoire pour déterminer L_{50} et d'autres matériels de laboratoire ont été utilisés pour l'analyse de toxicité au Laboratoire de Toxicologie et Ecotoxicologie de l'Institut National de Recherche Biomédicale de Kinshasa et Laboratoire de Biologie et des Techniques Appliquées de l'Institut Supérieur Pédagogique de la Gombe de Kinshasa. Il s'agit essentiellement :

- de l'essai de toxicité d'extraits aqueux des plantes et de la DL_{50} effectué *in vitro* sur les souris blanches de la race pure du type « *NMRI* » ou « *Balb C* » ;
- des formulations en poudre de *T. riparia*, *V. amygdalina* et *C. citratus* utilisées pour le test de toxicité, rémanence et résidus toxiques au laboratoire de l'ISP/Gombe ;
- de l'élevage de l'insecte, *Sitophilus zeamais* Motschulsky. (Coleoptera : Curculionidae), au laboratoire d'entomologie fondamentale et appliquée à l'INRB de Kinshasa ;

- d'autres matériels de laboratoire composés de verreries : une balance de précision de type Scoxelet portable, une loupe binoculaire, pinceau, cuillère à café, boîte en plastique, plateau en plastique, boîtes de Pétri, etc.

4.3.1.2 Matériel d'isolement et caractérisation des métabolites secondaires

Le matériel et les techniques du screening chimique de la phase aqueuse et organique pour la mise en évidence des métabolites secondaires sont ceux que l'on utilise respectivement au Laboratoire des Substances Naturelles et de Chimie Médicinale au Département de chimie à la Faculté des Sciences de l'Université de Kinshasa. Il s'agit notamment :

- des extraits aqueux, alcooliques (screening chimique) et métabolites secondaires préparés à partir des poudres de *T. riparia*, *V. amygdalina* et *C. citratus* ;

Autres matériels de laboratoire composés notamment de :

- Pieds gradué, Boule à décanter, Papier indicateur pH-mètre, Ballons jaugés, Ouate hydrophile, Percolateur, Becher, Pipettes graduées, Boîte de Pétri, Entonnoir, Etuve, Plaque chauffante, Erlen Mayer, Spatule, Marmite en acier inoxydable et Flacon stérilisé en verre ;
- En outre, nous avons utilisé de l'eau distillée, l'éthanol absolu p.a., le chloroforme p.a., l'acide chlorhydrique p.a. et l'hydroxyde d'ammonium p.a.

4.3.2 Méthodes

Méthodes couramment utilisées en screening de la phase aqueuse et organique pour la chimie des substances naturelles

4.3.2.1 Méthodes mise en évidence des métabolites secondaires

La mise en évidence des substances secondaires des espèces botaniques donnera une idée sur la connaissance avérée des molécules allelochimiques végétales

impliquées dans le contrôle des agents pathogènes et des insectes ravageurs détruisant les cultures et les produits en post-récolte.

4.3.2.2 Préparation du matériel végétal

Les poudres de feuilles obtenues après le broyage ont été tamisées. Dans notre schéma expérimental, la poudre est physiquement la forme la plus avancée pour être utilisée vis-à-vis de *S. zeamais* en vue de déterminer l'effet insecticide des plantes aromatiques et médicinales pour la conservation du maïs égrené. La recherche des métabolites secondaires contenus dans les espèces végétales nous ont incité à préparer des tisanes pour la caractérisation et la mise en évidence au laboratoire des principes de quintessence contenus dans ces plantes et ayant des effets insecticides, anti-appétants et régulateurs de croissance de l'insecte.

Les tisanes sont les produits des infusions, des décoctions et des macérations aqueuses ou alcooliques (solvant polaire). Elles résultent souvent de l'action de l'eau sur les produits végétaux contenant des principes actifs. L'infusion consiste à mettre les parties à utiliser dans un récipient en porcelaine argile, en verre ou en un autre matériel similaire qui puisse bien résister à la chaleur (100°C). On verse alors de l'eau presque bouillante sur la partie concernée dans des proportions adéquates. Ensuite, on ferme le récipient pendant que la dissolution et l'extraction des principes actifs se produisent (entre 5 à 10 minutes). En dernier lieu, on filtre et on obtient l'infusé. L'infusion offre l'avantage d'exploiter une bonne qualité de la recette sans trop altérer les propriétés physico-chimiques de la drogue.

La décoction implique les opérations suivantes : placer la partie du matériel végétal dans un récipient ou dans un ustensile de cuisson, ajouter la quantité d'eau nécessaire (de 0 à 5 litres), la faire bouillir pendant 10 à 20 minutes à feu de bois de cuisine, la laisser refroidir et, enfin, filtrer le produit obtenu et le décocter. Cette opération est surtout indiquée pour extraire le principe des parties dures (écorce, morceaux de racine, de tige, de fruit, parfois même pour des feuilles et les inflorescences non réduites en poudre). Il faut veiller à ce que la chaleur ne dégrade pas les principes actifs thermolabiles.

La macération est une opération qui consiste à extraire les principes actifs à partir du matériel végétal à la température ambiante et en utilisant un solvant approprié (eau, alcool, rarement l'huile) par trempage de l'organe dans ledit solvant. L'extraction par macération est réalisée de la manière suivante : mettre une quantité suffisante d'eau (à administrer le même jour) et déposer le matériel végétal (des pincées ou des poignées selon le cas) dans un récipient généralement à l'abri de la lumière et de la chaleur, remuer le contenu plusieurs fois, le garder pendant 6, 12 ou 24 heures selon que la partie est tendre ou dure et, enfin, filtrer à la passoire le liquide qui est généralement moins louche. Ce filtrat constitue le macéré. La macération est indiquée pour les drogues dont les principes actifs sont facilement détruits par la chaleur et pour les plantes très riches en tannins car, dans le macéré, le taux en tannins est plus faible que dans le décocté ou dans l'infusé.

On réalise aussi d'autres opérations telles que :

- la torsion de la drogue fraîche ou après ramollissement sous une chaleur basse pour obtenir un totum liquide appelé jus. Cette opération a l'avantage d'extraire toute la matière liquide contenant le principe actif tel qu'il est concentré dans la plante.
- la torréfaction qui est une technique qui favorise la carbonisation incomplète du matériel végétal permettant d'obtenir une poudre torréfiée. On l'utilise principalement pour des graines de certaines plantes (*Piper guineensis*) et des écorces de certains fruits (*Aframomum* spp.).

4.3.2.3 Préparation de l'extrait aqueux (screening chimique)

L'isolement (extraction) comprend les étapes suivantes :

- Prélever 150 ml d'eau distillée.
- Y ajouter 9 g de la poudre de l'échantillon.
- Laisser reposer pendant 48 heures.

- Enfin filtrer : le filtrat constitue le macéré ; il donne un extrait de coloration orange.

Les extraits aqueux comprennent les tannins, les alcaloïdes, les flavonoïdes, les anthocyanes, les leucoanthocyanes, les saponines et les quinones liées. Pour les extraits des alcaloïdes, on a besoin de 5 ml d'extrait auquel on ajoute 1 ml d'acide chlorhydrique 1 N et 0,05 ml de réactif de Dragendorff. Alors il se forme un précipité orange qui trahit la présence d'alcaloïdes dans l'échantillon.

Les extraits des flavonoïdes se préparent dans un tube à essai. Il faut mettre 3ml de l'extrait aqueux, ajouter 1 ml de réactif de Shinoda avec quelques copeaux de magnésium. On y ajoute ensuite 1 ml d'alcool isoamylique. La formation d'un film mince de coloration orangée, rouge cerise ou violacée dénote la présence des flavonoïdes.

Les extraits des anthocyanes, à 3 ml d'extrait aqueux, ajouter 2 ml de HCl 20% et chauffer au bain marie. En présence des anthocyanes, il se développe une coloration rouge violacée de chlorure d'anthocyanes qui peut cristalliser.

Pour les extraits des leucoanthocyanes, il faut 3 ml d'extrait aqueux auxquels on ajoute quelques gouttes de réactif de Shinoda, puis il faut chauffer le tout au bain marie. Une coloration rouge ou violacée dans la couche surnageant signale un test positif.

Les extraits des saponocides se préparent en plaçant 2 ml d'extrait aqueux dans un tube à essai qu'ensuite on agite énergiquement. L'apparition d'une mousse persistante atteste la présence des saponines.

Pour les extraits des tanins, on prélève 5 ml de l'extrait aqueux dans un tube à essai dans lequel on ajoute 1 ml de FeCl_3 1%. L'apparition d'une coloration verte, avec ou sans précipité, indique la présence des tanins de façon générale. Si le test est positif, on peut différencier les « tanins galliques » des « tanins catéchiques » de façon suivante :

- A 5 ml d'extrait aqueux, ajouter 5 ml de réactif de Stiasny et chauffer au bain marie à 90°C pendant 30 minutes. Alors un précipité brun indique la présence des tanins catéchiques. Filtrer en cas de présence des tanins catéchiques, saturer le filtrat avec des cristaux de CH_3COONa .
- Ajouter 1ml de FeCl_3 2% ; une coloration noirâtre indique la présence des tanins galliques.

Les extraits des quinones liées partent de 5 ml de l'extrait aqueux auquel on ajoute 1 ml de réactif de Börntrager (NaOH ou NH_4OH 0,1N) et que l'on agite énergiquement. L'apparition d'une coloration allant de l'orange au rouge vif dénote la présence des quinones liées.

4.3.2.4 Préparation de l'extrait alcoolique (screening chimique)

Les extraits alcooliques comprennent les extraits des stéroïdes et triterpénoïdes. Pour leur préparation, il faut prélever 5 ml de l'extrait organique, y ajouter 1 ml d'anhydride acétique et laisser couler sur les parois du tube à essai 0,05 ml de H_2SO_4 concentré. L'apparition d'une coloration verte qui vire au rouge (terpènes) à bleue violacée (stéroïdes) indique un test positif. On peut aussi utiliser du H_2SO_4 concentré seul en cas de carence de l'anhydride acétique. La préparation se fait comme suit : dans un tube à essai, mettre 5 ml d'extrait organique, y ajouter lentement 2 à 3 ml de H_2SO_4 concentré. Ce test est positif s'il se forme un anneau rouge à la surface.

La préparation des triterpénoïdes et des stéroïdes se fait comme suit : à 5 ml de l'extrait organique évaporé à sec, on ajoute 1 ml d'anhydride acétique et on laisse ensuite couler sur la paroi interne du tube à essai 0,05 ml de H_2SO_4 concentré (réactif de Liebermann : H_2SO_4 concentré + $(\text{CH}_3\text{CO})_2\text{O}$). Une coloration violette indique la présence des triterpénoïdes et stéroïdes en mélange. Séparément, les terpènes donnent un complexe mauve tandis que les stéroïdes développent une coloration verte.

4.3.2.5 Plantes à effets insecticides

Les molécules chimiques végétales sont en grande majorité synthétisées par le métabolisme secondaire des plantes à travers les voies du shikimate, du mévalonate, de l'acétate et des amino-acides, réactions chimiques aux cours desquelles les molécules se transforment et donnent des sous-produits ne servant pas à la croissance de la plante. C'est le cas des substances odorantes dégagées par la sève du pin, par exemple. Ces molécules chimiques appartiennent majoritairement à trois grandes familles chimiques ci-dessous (Regnault *et al.*, 2005 ; Regnault *et al.*, 2008 ; Huignard *et al.*, 2011) :

- Les phénylpropanoïdes et les substances phénoliques (molécules impliquées : favonoïdes (catéchine, flavones, tanins), quinones (benzoquinones, limène), polyphénols (acides féruliques et phytohormones etc.) ;
- Les terpénoïdes (molécules impliquées : monoterpènes, sesquiterpènes etc.) et les stéroïdes (molécules impliquées : saponines, cucurbitacines, ecdystéroïdes, limonoïdes, azadirachtine, etc.) ;
- Les alcaloïdes et les composés azotés (molécules impliquées : atropine, cocaïne, nicotine, ephédrine, morphine, etc.) ainsi que les composés soufrés, etc.

Ces molécules très variées jouent plusieurs rôles dans la protection du végétal et sont utilisées comme les biopesticides d'origine végétale. Les actions des molécules allélochimiques végétales impliquées dans la gestion des ravageurs et des maladies ont diverses fonctions : inhibitrices de la digestion ou de la reproduction, effets répulsifs et toxiques, inhibitrices de croissance de l'insecte, déclenchement de la synthèse de protéines de résistance contre l'agent pathogène. Généralement, on classe les molécules allélochimiques végétales en 2 catégories :

- Les composés qui possèdent des caractéristiques structurales et qui permettent aux plantes d'opposer une barrière physicochimique, freinant l'installation ou la progression du parasite (de l'agent pathogène). Exemple : la lignine, la subérine ;

- Les composés produits par la plante et dont la synthèse en réponse à un stress biotique provoqué par un agent pathogène ou par le stress abiotique (irradiations par exemple). Absents avant l'inoculation, ils s'accumulent au voisinage des sites d'infection et possèdent un pouvoir inhibiteur ou toxique vis-à-vis des micro-organismes ou des cellules végétales ou animales (Djian-Caporalina *et al.*, 2002 ; Philogène *et al.*, 2002).

La structure chimique des phytoalexines est très diversifiée et varie d'une famille végétale à l'autre, mais beaucoup de familles botaniques produisent des phytoalexines d'une même classe chimique (Boeke *et al.*, 2004). Leurs familles chimiques sont celles des molécules allélochimiques végétales : tanins, flavonoïdes, diterpènes, coumarines, isoflavonoïdes, sesquiterpénoïdes, ou polyacétylènes etc..... (Philogène *et al.*, 2008 ; Regnault-Roger *et al.*, 2005).

4.4. Résultats du screening chimique

Le screening chimique a consisté à mettre en évidence les substances naturelles, les métabolites secondaires qui renfermeraient les matières actives à vertu insecticide et/ou insectifuge. Ce screening est constitué d'un ensemble de tests simples et de quelques réactions colorées qui, sans être totalement spécifiques, permettent de fournir un certain nombre de renseignements sur les substances secondaires présentes dans le matériel végétal utilisé en protection des végétaux et des produits de récolte (Regnault-Roger, 1999 et Ogendo, 2008). Ils contiennent les alcaloïdes et les composés azotés, les terpénoïdes, les stéroïdes, les substances phénoliques et autres (Harborne, 1988 ; Regnault-Roger et Philogène, 2005). Ils sont importants dans la sélection des plantes hôtes, bien que beaucoup d'entre eux soient toxiques aussi bien pour les herbivores que pour les plantes elles-mêmes. Ils sont, de ce fait, stockés dans des structures spéciales pour les séparer du cytoplasme de la plante. On les stocke aussi dans une forme inactive (Regnault-Roger, 2002 et Philogène *et al.*, 2008).

Les tests ont été effectués sur les extraits aqueux et alcooliques du macéré des feuilles de *V. amygdalina*, *T. riparia* et *C. citratus*. La recherche des alcaloïdes, quinones en premier lieu, et ensuite des polyphénols et tannins, s'avère importante

parce qu'ils ont indiqué leur efficacité comme insecticide, répulsif, anti-appétant ou régulateur de croissance de l'insecte. Les molécules allélochimiques végétales (phénylpropanoïdes et substances phénoliques, trépénoïdes et stéroïdes, alcaloïdes et composés azotés) exercent une certaine toxicité mortelle sur les insectes. Par exemple, la colchicine, l'aconitine ou la delphinine causent la mort rapide des insectes. Toute une gamme d'insecticides végétaux à base de dérivés de l'acide nicotinique (nicotine, nornicotine, anabasine), ou des mélanges d'alcaloïdes (ryanodine, vératrine, quassine), sous forme d'extraits végétaux, a été commercialisée au cours de la première partie du XX^{ième} siècle (Philogène *et al.*, 2002 et Ogendo *et al.*, 2004).

4.4.1. Mise en évidence des métabolites secondaires synthétisant des molécules allélochimiques végétales à effets insecticides

Le tableau 4.1 regroupe les résultats de l'isolement et de la caractérisation des métabolites secondaires effectués au laboratoire des Substances Naturelles et Chimie Médicale au Département de chimie, Faculté des Sciences de l'Université de Kinshasa.

Tableau 4.1 Screening chimique des extraits aqueux et alcooliques (organiques) des espèces botaniques

N°	Composés recherchés	Réactifs utilisés	Extraits aqueux de <i>T. riparia</i>	Extraits organiques de <i>T. riparia</i>	Extraits aqueux de <i>C. citratus</i>	Extraits organiques de <i>C. citratus</i>	Extraits aqueux de <i>V. amygdalina</i>	Extraits organiques de <i>V. amygdalina</i>
1.	Polyphénols	Réactif de Burton	+		+		+	
2.	Tanins	Chlorure ferrique 2%	+		+		+	
3.	Flavonoïdes	Réactif de Shinoda + copeaux de Mg ⁺⁺ , alcool isoamylique	-		-		-	
4.	Anthocyanes	HCl 20%	-		-		+	
5.	Quinones liées	Réactifs de Bornträger	-		-		+	
6.	Leucoanthocyanes	Réactif de Shinoda + alcool isoamylique	-		+		-	
7.	Alcaloïdes	Réactif de Bragendorff + HCl	+		+		+	
8.	Saponines	Test de mousse	+		-		+	
9.	Quinones libres	Réactif de Bornträger		-		-		-
10.	Triterpénoïdes	Réactif de Liebermann – Buchardat		+		+		+
11.	Stéroïdes	Réactif de Liebermann – Buchardat		-		-		-
12.	Coumarines	Réactif de Bornträger		-		-		-

Légende : + : Présence des substances métabolites secondaires à effets insecticides dans la plante

- : Absence des substances métabolites secondaires à effets insecticides dans la plante

Il ressort du tableau 4.1 que les analyses phytochimiques réalisées relèvent la nature des molécules allélochimiques végétales impliquées dans la gestion du charançon du maïs, notamment les polyphénols, alcaloïdes, saponines, tannins, triterpénoïdes, anthocyanes, quinones liées et leucoanthocyanes dans les espèces de plantes utilisées par les paysans et agriculteurs de Kinshasa et du Kongo Central dans la protection biologique des stocks.

4.4.2. Extraction et caractérisation des substances secondaires des plantes insecticides

Le résumé des résultats d'isolement des métabolites secondaires effectué au laboratoire des Substances Naturelles et Chimie Médicale au Département de chimie, Faculté des Sciences de l'Université de Kinshasa sont repris dans tableau 4.2.

Tableau 4.2. Différents métabolites secondaires à effets insecticides dans les trois plantes

Composés Plantes	Polyphénols	Tanins	Alcaloïdes	Anthocyanes	Quinones liées	Saponines	Leucoanthocyanes	Triterpénoïdes
<i>V. amygdalina</i>	+	+	+	+	+	+	-	+
<i>C. citratus</i>	+	+	+	-	-	-	+	+
<i>T. riparia</i>	+	+	+	-	-	+	-	+

Légende :

⊕ : Présence des métabolites secondaires à effets insecticides ;

- : Absence des métabolites secondaires à effets insecticides.

Il est admis que la présence des molécules allélochimiques végétales énumérées dans le tableau 4.2 est réputée pour certaines espèces telles que *Vernonia amygdalina* et *Tetradenia riparia* et la substance active à effets insecticides, insectifuges, antiappétants et inhibiteurs de croissance de l'insecte ou de système digestif serait un indice insecticide sur le comportement et la physiologie du *S. zeamais*. Le contact, l'ingestion ou l'inhalation de ces extraits aqueux et alcooliques de *C. citratus*, *V. amygdalina* et *T. riparia* aux charançons des céréales justifieraient notre choix de ces plantes présumées insecticides dans la lutte contre *Sitophilus zeamais*. Eu égard à l'identification et à la présence de ces métabolites secondaires dans les

espèces végétales, *V. amygdalina* a été l'espèce ayant donné de bons résultats avec anthocyanes et quinones liées, suivie de *C. citratus* avec leucoanthocyanes et enfin *T. riparia* qui, malgré l'absence d'autres métabolites secondaires, a été meilleur que le témoin. Dans ses recherches scientifiques, Regnault-Roger, (2005) a mis en relief l'implication des molécules allélochimiques végétales à effets insecticides dans les mécanismes de défense des plantes et des produits post-récoltes.

Toutefois, les métabolites secondaires qui ont été trouvés peuvent ainsi être mortelles : c'est le cas des glucosides (saponines) et des alcaloïdes (strychnine, nicotine, atropine, quinine) qui sont toxiques pour la majorité des agresseurs des plantes et des produits en stock ou simplement répulsifs, antiappétants, inhibiteurs de la reproduction (tanins). Ainsi, le puceron *Schizaphis graminum*, élevé en présence de flavonoïdes indique une fécondité limitée, et sa progéniture est moins viable. Les sesquiterpènes et lactones sesquiterpéniques jouent un rôle dans les relations interspécifiques comme antiappétants, ou comme répulsifs ou toxiques pour les insectes. A titre d'exemple, la lactupicrine, extraite de la chicorée sauvage, *Cichorium intybus*, et le gossypol sécrété par les glandes épidermiques du cotonnier (*Gossypium* spp.) (Harborne, 1988 ; Regnault-Roger, (2005). Les composés azotés (composés soufrés) possèdent une activité pesticide qu'ils exercent sur les organismes vivants : des effets toxiques ont été observés chez le moustique (Diptère) *Culex pipiens* ou Coléoptère *Callosobruchus maculatus*. Le glucosinolate sinigrine est un antiappétant pour des pucerons comme *Aphis fabae*, mais non toxique pour les larves de *Papilio polyxenes*. Une activité acaricide est observée contre *Tetranychus urticae* (Huis *et al.*, 1994 ; Hamraoui et Regnault, 1997 et Regnault-Roger et Philogène, 2005).

Ainsi, la mise en évidence des substances secondaires dans ces plantes a permis de comprendre leur effet insecticide sur la vie, le comportement et la physiologie de l'insecte, et aussi leur effet inhibiteur du système digestif, de la reproduction et de la croissance de l'insecte ravageur des stocks (Foua-Bi, 1992). La mise en évidence et l'isolement des métabolites secondaires effectuées au laboratoire des Substances Naturelles et Chimie Médicale au Département de chimie ont favorisé la vérification des hypothèses émises avec les résultats obtenus dans nos expériences. Ces espèces végétales ont donné des résultats avec les activités insecticides similaires à ceux trouvés dans les molécules allélochimiques végétales impliquées dans la protection des cultures et des produits récoltés dans les recherches effectuées par Hill *et al.*, (2003) et Regnault,(2014). L'extraction aqueuse et

alcoolique qui permet la mise en évidence, l'identification et la qualification des différents métabolites secondaires présents dans ces espèces végétales. Pour cette recherche doctorale, nous nous sommes limité à la mise en évidence et à l'isolement des composés secondaires des plantes insecticides. Nous n'avons pas recouru à la Chromatographie sur Couche Mince (C.C.M), faute de laboratoire spécialisé au pays, qui facilite l'action d'encercler chaque spot, de pointer le centre et de noter enfin les différentes valeurs de R_f^2 enregistrées. L'objectif primaire que nous nous sommes fixé est l'identification, l'extraction et la caractérisation des molécules allélochimiques végétales présentes dans les métabolites secondaires des plantes à effets insecticides.

4.4.3 Analyse de toxicologie et biodégradabilité des effets toxiques résiduels

En effet, la littérature scientifique renseigne que la majorité des insecticides et des insectifuges d'origine végétale pose un problème de contamination de l'environnement à court ou à long terme selon la nature des molécules végétales utilisées au contact des extraits aqueux et alcooliques. D'où l'impérieuse nécessité d'examiner les effets toxiques et résiduels des insecticides naturels d'origine végétale sur la biosphère et la santé humaine. Les insecticides ne sont pas seulement toxiques pour les organismes cibles, mais également, à des degrés divers, pour l'homme, la flore et la faune (Anonyme, 1986 cité par Loma, 1990, Hywarsd, 1983 ; Kéita *et al.*, 2000 et Regnault-Roger *et al.*, 2005).

Pour estimer le danger potentiel que suscite un insecticide, on se sert de l'indication DL_{50} . DL est l'abréviation de « Dose létale ». La DL_{50} est exprimée en milligrammes (mg) de l'insecticide concerné par kilogramme (kg) de poids vivant des animaux expérimentaux qui sont en général des rats. La DL_{50} représente la quantité de la matière active dont la seule administration entraîne la mort de 50% d'un groupe d'animaux expérimentaux étant donné que la toxicité varie suivant le mode d'introduction et d'action de l'insecticide (des pesticides) dans l'organisme. La DL_{50} s'applique en général à la matière active pure contenue dans un insecticide. Outre la concentration de la matière active, la nature de la formulation, le mode d'application et le mode d'action jouent un rôle décisif. Les insecticides à DL_{50} élevée possèdent une toxicité aiguë relativement minime. Ceci ne permet cependant pas de préjuger d'éventuels dangers pour la santé à long terme (affections chroniques) Ho *et al.* (1996) ; Boeke *et al.* (2004) et Ngamo *et al.* (2007).

4.4.3.1. Test de toxicité

L'objectif de l'analyse toxicologique était d'affirmer ou d'infirmer la toxicité des extraits végétaux pouvant avoir un impact négatif sur la santé animale et humaine ainsi que sur l'environnement. Il existe plusieurs types de toxicité :

- Toxicité aiguë par ingestion ;
- Toxicité à long terme par ingestion ;
- Toxicité percutanée ;
- Toxicité par inhalation.

Les deux premières sont capitales lors du choix d'un pesticide. La toxicité aiguë par ingestion s'exprime par la notion de DL_{50} contenant la dose qui entraîne la mort de 50 % des souris en expérimentation, elle s'exprime en mg/kg de poids vif (Anonyme, 1986 cité par Loma, 1990 et Gwinner *et al.*, 1996). Dans cette étude, le test de toxicité aiguë et de la DL_{50} a été effectué *in vitro* sur les souris blanches de la race pure du type « *NMRI* » ou « *Balb C* ». Les décoctés des feuilles de *Tetradenia riparia*, de *Vernonia amygdalina* et de *Cymbopogon citratus* ont été utilisés au laboratoire toxicologique et écotoxicologique de l'Institut National des Recherches Biomédicales de Kinshasa.

4.4.3.2 Analyse toxicologique des plantes à effets insecticides

Le test de toxicité se fait par méthode trophique sur le modèle standard. Un lot de 20 souris de même race, de même âge (6 mois), de sexes différents (mâles et femelles) et de poids compris entre 23 et 25 g a été gavé.

Les résultats du test de toxicité avec les quatre concentrations des décoctés des extraits aqueux d'espèces végétales qui a effectué sur les souris de même race et de même âge sont repris au tableau 4.3.

Tableau 4.3 Quatre concentrations des décoctés des extraits botaniques

Concentrations des extraits botaniques Espèces des plantes	0,4 ml	0,6 ml	0,8ml	1 ml
<i>Cymbopogon citratus</i>	-	-	-	-
<i>Vernonia amygdalina</i>	-	-	-	-
<i>Tetradenia riparia</i>	-	-	-	-

Légende :

- + : Toxique
 - : Non toxique

Quatre concentrations des décoctés exploratoires ont été retenues pour ce test : 0,4 ml, 0,6 ml, 0,8 ml et 1 ml d'extraits des décoctés des feuilles de *T. riparia*, *V. amygdalina* et *C. citratus* par kilogramme de poids corporel. Ces concentrations étaient administrées aux différents groupes de souris par gavage gastrique à l'aide d'une sonde par souris. Le seul paramètre biologique considéré pour évaluer la toxicité est la « mortalité » et la solution est administrée une seule fois. Ces concentrations n'ont présenté aucune toxicité aux souris après 10 jours d'observation.

Le poids moyen de 23,4 gde souris n'a pas varié avant et après le gavage (23,5 g) pendant les 10 jours d'expérimentation. En outre, la dissection des animaux à la fin de l'expérience n'a présenté aucune lésion sur les organes cibles : foie, reins, rate, etc. Les grains de maïs traités par les extraits de ces plantes peuvent être déclarés sans danger à la consommation aux doses prescrites ; ainsi, la recherche de la DL₅₀s'avère inappropriée.

Ces résultats réfutent l'opinion du caractère toxique réputé pour les insecticides naturels, décrite par beaucoup de chercheurs qui soutiennent que les éclairages scientifiques les plus rigoureux concernant les effets des molécules allélochimiques végétales sur la santé et l'environnement doivent être préalablement évalués pour éviter les risques et les incertitudes. Toutefois, pour confirmer et déclarer le non toxicité de ces extraits végétaux, il faut au moins attendre un autre examen ou encore une autre vérification pendant une période d'au moins deux ans (Raven *et al.*, 2009 ; Ngamo et Hance, 2007).

4.4.4 Analyse de la persistance des effets insecticides

On appelle persistance la faculté qu'a un produit chimique de rester actif après utilisation sur le végétal, produit de stock ou sur l'homme et l'animal après un délai d'usage donné. La rémanence entraîne souvent le phénomène des résidus, (Anonyme, 1986, cité par Loma, 1990 et Kéïta *et al.*, 2000). Les résidus toxiques sont des substances spécifiques laissées par un pesticide dans les aliments, les produits agricoles ainsi que les impuretés jugées importantes du point de vue toxicologique et écotoxicologique (Anonyme, 1986, cité par Loma, 1990 ; Zongo *et al.*, 1993 ; Weinzeil, 1998 et Raven *et al.*, *op.cit.*).

Les organochlorés sont très persistants dans l'environnement et se dégradent très lentement en métabolites moins toxiques. Habituellement, lorsqu'un pesticide persistant est ingéré par un organisme, il est stocké dans les tissus adipeux. Avec le temps, l'organisme accumule des concentrations croissantes de pesticide ; ce phénomène est connu sous le nom de bioaccumulation ou amplification biologique (Raven *et al.*, 2009).

Dans le souci de protéger le consommateur, il existe pour tous les insecticides des prescriptions relatives aux limites maximales de résidus (LMR) admissibles dans les denrées alimentaires traitées. On part en l'occurrence du principe qu'un individu présentant des habitudes alimentaires normales et qui mange de la nourriture contenant des résidus d'insecticides ne dépassant pas les LMR, n'atteint pas la DJA (dose journalière acceptable) Weinzeil, (1998), et Anonyme, (1986 cité par Loma, 1990).

4.4.4.1. Rémanence substantielle d'action insecticide des poudres végétales

Le test de persistance s'effectue par technique habituellement simple sur le modèle standard. Cent grains de maïs enrobés avec les poudres végétales mis dans les boîtes de Pétri ouvertes ont servi de test. Toutes les boîtes de Pétri traitées avec différentes poudres foliaires sont à leur tour mises dans le dessiccateur dans lesquels reposent les grains de maïs attaqués par les charançons du maïs (*Sitophilus zeamais* Motschulsky). Les résultats sur la rémanence d'action insecticide sont repris au tableau 4.4.

Tableau 4.4. Persistance d'action insecticide et effets résiduels toxiques

Jr/ Trt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
T ₀	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
T ₁	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+
T ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+
T ₃	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+
T ₄	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Légende :

T₀ = Témoin ; T₁ = *Cymbopogon citratus* ; T₂ = *Vernonia amygdalina*

T₃ = *Tetradnia riparia* ; T₄ = Actellic ; Jr = Jour et Trt = Traitement

⊕ = Présence des insectes ; - = Absence des insectes

Les données relatives à l'efficacité des formulations en poudre foliaire des plantes insecticides sont souvent ambiguës ; quant à leur rémanence, ces données sont presque quasi inexistantes dans la littérature scientifique (Djossou, 2006). La formulation en poudres testée dans notre expérimentation est d'autant plus intéressante qu'elle est facile à mettre en œuvre en milieu paysan agricole, non dangereuse et peu coûteuse. Après une minutieuse observation au niveau de chaque boîte de Pétri contenant des grains de maïs enrobés avec les différentes poudres dans un dessiccateur avec *S. zeamais* pour un délai de quinze jours, il a été retenu que leur rémanence ne va pas au-delà de neuf jours. *T. riparia* a une persistance d'une semaine, *C. citratus* a persisté pendant sept jours tandis que *V. amygdalina* a eu une persistance de six jours. D'une manière générale, ces formulations en poudre ont presque la même durée de rémanence car la dégradation des résidus toxiques varie d'une semaine à une semaine et demie.

Les molécules allélochimiques végétales sont des substances biologiques naturelles non stables et qui peuvent se décomposer sous des formes plus simples par le biais des processus naturels. Les décomposeurs naturels comme les bactéries élaborent des moyens de dégrader la plupart des biopesticides d'origine végétale. Dans les traitements avec les poudres (T₁, T₃ et T₂), le taux de mortalité décroît au fur et à mesure que la durée d'exposition des charançons aux formulations en poudre est prolongée. Toutefois, les activités résiduelles des poudres de *Vernonia amygdalina* se maintiennent jusqu'au sixième jour d'observation avec une mortalité de 100% d'insectes. Ceci est dû à d'autres molécules allélochimiques végétales comme les leucoanthocyanes et les quinones liées que contiennent les poudres de *Vernonia amygdalina* L. qui seraient mortelles.

4.5 Discussion partielle

Les activités pharmacologiques et les propriétés insecticides des formulations en poudre des plantes ont été vérifiées et confirmées vis-à-vis de l'insecte primaire de maïs (*Sitophilus zeamais* Motsch.) en stockage. Les composés allélochimiques végétaux sont donc toxiques pour beaucoup d'insectes en milieu clos. Outre les effets toxiques et répulsifs, des cas d'effets antiappétants ont été observés dans notre travail. Nasseh, (1983) avait obtenu presque le même résultat en expérimentant les extraits d'ail qui perturbent la prise des aliments par l'ordre de Coléoptère du genre *Epilachnavarivestis*. Pareillement, des extraits de plusieurs plantes réduisent significativement le taux de ponte des femelles des ravageurs particulièrement le psylle du poirier, *Cocopsyllapyricola* (Regnaultat-Roger, 2005). Il a été observé, dans plusieurs expérimentations au laboratoire et sur le terrain, que des extraits de plantes perturbent également l'établissement et le développement sur sa plante hôte (Thiamet Ducommun, 1993).

Les effets répulsifs les plus souvent décrits ont des conséquences sur le comportement locomoteur de plusieurs insectes. Ainsi, l'odeur des plantes médicinales et aromatiques, singulièrement l'oignon, est répulsive pour la mouche du chou dénommée *Delia (brassicae) radicum*, ainsi qu'un extrait d'ail pour le moucheron *Simulium indicum* et le moustique *Culex fatigans* (Regnaultat-Roger et Philogène, 2005). Alors, il est admis après vérification, que certaines substances produites par les espèces végétales sont toxiques vis-à-vis des insectes ravageurs. Elles peuvent aussi être mortelles : c'est le cas des glucosides (saponines) et des alcaloïdes (strychnine, nicotine, atropine, quinine) qui sont amers et toxiques pour la majorité des bioagresseurs des plantes ou tout simplement répulsives (tannins). Certaines de ces molécules végétales étaient retrouvées dans les plantes expérimentées dans notre étude. L'existence de la toxicité de poudre pour le *C. citratus*, *T. riparia* et *V. amygdalina* sont meilleures vis-à-vis de *S. zeamais* pour une durée plus au moins de 15 jours. Son efficacité insecticide offre la possibilité d'éliminer tous les charançons présents ; c'est une activité insecticide contre *S. zeamais* dont les femelles pondent la plus grande partie des œufs au cours des trois à cinq premiers jours de leur état imaginal (Nwanze *et al.*, 1975 ; Sinhg et Jackai, 1985). Les poudres peuvent aussi exercer un effet mécanique sur le mouvement et la ponte des charançons comme l'ont confirmé les différents travaux de Kéita *et al.* (2000).

Dans le vaste groupe de triterpènes, on trouve donc des composés très divers comme les limonoïdes qui se sont révélés des insecticides puissants contre les déprédateurs des cultures et des denrées alimentaires en conservation. L'azadirachtine est un inhibiteur de croissance de l'insecte et les quassinoïdes sont identifiés chez les *Quassia* spp. et possèdent des propriétés insecticides contre les pucerons et les poux et des propriétés nématostatiques contre le nématode *Meloidogyne javanica* (Djian-Caporalino *et al.*, 2002).

On a aussi constaté que les saponines des graines de soja inhibent le développement du bruché *Callosobruchus chinensis* tandis que celles des racines de la luzerne *Medicago sativa* inhibent la croissance du hanneton *Melolontha melolontha* (Seck, 1996). Certains diterpènes ont également été identifiés pour leurs propriétés larvicides contre les lépidoptères dans les fleurs du tournesol (*Helianthus annuus*) (Harborne, 1988). Dans l'état actuel des connaissances, il apparaît que les divers composés allélochimiques végétaux possèdent plusieurs propriétés insecticides biologiques qui en font des pesticides très intéressants pourvus d'un avenir prometteur.

4.6 Conclusion partielle

Ainsi, la mise en évidence des molécules allélochimiques végétales dans les plantes nous a fait comprendre leur effet insecticide et insectifuge sur le comportement, la physiologie et la régulation de croissance de l'insecte ravageur. D'où leur réputation comme plantes insecticides, antiappétantes ou/et insectifuges. En screening chimique la présence des leucoanthocyanes et de quinones liées a été observée dans les extraits organiques de *V. amygdalina* uniquement ; ce qui donne la spécificité et la sélectivité à chaque espèce végétale. Les métabolites secondaires peuvent ainsi être mortels : c'est le cas de glucosides (saponine) et d'alcaloïdes (strychnine, nicotine, atropine, quinine, morphine, éphédrine, etc). Ces substances sont antiappétants ou toxiques pour la majorité des ravageurs des produits de stock, ou simplement répulsives (comme tanins).

Les formulations en poudre végétale pourraient manifester des propriétés ovicides, larvicides et adulticides dans la protection des maïs égrenés. *V. amygdalina*, *C. citratus* et *T. riparia* ont présenté de meilleurs résultats avec moins de déficit économique et social que ceux des témoins. Ces résultats ont été vérifiés et confirmés par le Screening chimique avec la présence des substances phénoliques, stéroïdes, terpénoïdes, alcaloïdes et composés azotés. Le test de toxicité a été fait sur les souris blanches d'origine hollandaise avec les extraits des décoctés des feuilles de *V. amygdalina*, de *T. riparia*, de *C. citratus* qui n'ont pas été toxiques chez les souris. Les grains de maïs peuvent être déclarés sans danger pour la consommation des animaux à sang chaud parce qu'ils ne contiennent pas de résidus toxiques.

Les résultats obtenus indiquent qu'une protection biologique et saine à moindre coût en gestion de *S. zeamais* est possible en utilisant des formulations en poudre foliaire des espèces végétales. *T. riparia*, *V. amygdalina* et *C. citratus* seraient une alternative de la 3^{ème} génération d'insecticides en protection biologique des stocks parce qu'elles inhibent bien la ponte ainsi que l'émergence et la prolifération de la première génération d'insectes ravageurs. L'activité résiduelle des formulations en poudre foliaire de *V. amygdalina*, de *T. riparia* et de *C. citratus* se maintient jusqu'au dixième jour de l'observation avec une mortalité de 100% de ravageurs. Des chercheurs, par leur expérimentation, donnent des preuves probantes que les substances naturelles d'origine végétale ne perturbent pas le système endocrinien. Donc, aucun impact négatif ne se manifeste pour la pollution de l'environnement, le désordre écologique ou agroécosystèmes et biocénose.

Figures : Matériel de test de toxicité et contamination avec souris et gâteaux (Source ; Ndju Essaho, 2015)



Figure4.1 : Matériel utilisé pour la décoquctions, gavage et le biberon



Figure4.2 : Gavage des souris soumis en expérimentation

Conclusion générale et perspectives

La présente thèse se donne pour objectif principal de répertorier les différentes plantes à effets insecticides et les moyens de lutte biologique endogène, impliqués dans la protection du maïs égrené contre le charançon du maïs dans quelques milieux de vente de la République Démocratique du Congo (RDC). Des études ont été menées dans l'environnement agro commercial entourant l'infestation et la prolifération de l'insecte ravageur, de la réaction des grains de maïs vis-à-vis des bioagresseurs, et de l'espèce *Sitophilus zeamais* responsable de diverses catégories de pertes observées dans les zones d'étude. Les résultats obtenus prouvent que 86,96% des 336 espèces examinées sont les plantes à pouvoirs insecticides à usage aisé et courant pour la protection du maïs. Les moyens de lutte utilisés en gestion des produits post-récoltes diffèrent significativement selon les provinces et selon le genre. Les 36% des personnes interrogées ont déclaré avoir fait usage des insecticides naturels d'origine végétale.

L'action insecticide et l'efficacité des doses ont été évaluées dans le chapitre trois. Dans l'ensemble, elles concernaient la nature de l'espèce végétale, la quantité de poudres utilisée pour l'essai, les conditions climatiques du laboratoire et la présence des charançons dans les bocal en plastique. Il s'est dégagé de ces analyses se fait que les attaques des charançons est présentes dans tous les pots de maïs égrené, et elles se manifestent de manière générale à des degrés d'infestation et de prolifération différents. Il existe un lien significatif entre la variabilité des effets insecticides et la variabilité de la quantité de poudres utilisée. Cependant, pour les formulations en poudre, les doses de 0, 1 et 2 g n'avaient pas d'effets insecticides durant la conservation contre les charançons et n'offraient pas toujours de garantie phytosanitaire. Les dénombrements des imago émergés survivants ont été constatés, avec une réduction significative de nombres moyens d'adultes survivants et avec les doses de 4 et 6 g de poudres. Ces résultats mettent en évidence les effets insecticides et les doses des espèces botaniques sur la survie des insectes ravageurs, de même sur les trous de ponte et confirment ainsi notre hypothèse. La pratique des bioinsecticides d'origine végétale en conservation des denrées alimentaires implique la protection en gestion des ravageurs de stock en zone tropicale humide. Le défi à relever est de rendre cette méthode de lutte biologique encore plus accessible et praticable chez les paysans.

Les trois espèces végétales retenues parmi les huit plantes ont été soumises à des évaluations de l'efficacité et de l'activité insecticides vis-à-vis de *S. zeamais* pour la protection des maïs en conservation. Les analyses ont démontré les effets insecticides des formulations en poudres qui variaient selon les variétés de maïs et la nature biologique, biophysique et biochimique de l'espèce végétale. Les effets insecticides positifs étaient ceux de *V. amygdalina* et de *C. citratus* avec la variété Kasai 1 qui ont empêché la survie et la prolifération de *S. zeamais*. Cependant, la pression des ravageurs était moins prononcée sur les variétés ZP 800 et Kasai 1 qui se sont avérées tolérantes, comparativement à la lignée L 55 et la variété Samaru qui ont révéélé soit une sensibilité, soit une susceptibilité apparente aux attaques. Ceci met en évidence l'action combinée additive de la résistance des variétés de maïs et l'effet insecticide des espèces végétales. Ces résultats ont fait apparaître les effets insecticides variant en fonction des variétés de maïs, des biosinsecticides végétaux et de l'insecticide de synthèse vis-à-vis de *S.zeamais*. Les produits phytopharmaceutiques *Cymbopogon citratus* et actellic 2% ont été plus actifs que ceux de *Tetradeniariparia* et *Vernonia amygdalina*. L'utilisation des feuilles naturelles d'espèce botanique dans les pays en développement pourrait constituer une opportunité pour la protection de l'agroécosystème et augmenter leur revenu agricole.

Le quatrième chapitre est focalisé sur l'identification, la caractérisation et l'extraction des métabolites secondaires des plantes à effets insecticides pour la protection biologique de maïs. Le Screening chimique a mis en évidence les molécules allélochimiques végétalessuivantes : des composés phénoliques (polyphénols), des flavonoïdes (tannins) et des composés azotés (alcaloïdes) ainsi que les espèces de plantes analysées. Le test de toxicité administré sur les souris avec les extraits des décoctés des feuilles de *V. amygdalina*, de *T. riparia*, de *C. citratus* n'ont pas été toxiques chez les souris. Et ils sont déclarés sans danger pour les animaux à sang chaud et seraient comestibles sans intoxication.

Les formulations en poudre foliaire inhibent aussi bien la ponte que l'émergence de la première génération. Sans rémanence avec biodégradabilité et sans dépôt ni accumulation biologique dans les tissus adipeux, l'air, l'eau, le sol et sous-sol. L'effet résiduel de la formulation en poudre foliaire de *V. amygdalina* se maintient jusqu'au septième jour d'observation avec une mortalité de 100% d'insectes. Il n'existe pas de résidus toxiques parce que les bios insecticides d'origine végétale sont biodégradables et n'ont pas une amplification biologique dans les différents niveaux de la chaîne trophique. Dans la perspective de la lutte

biologique contre *Sitophilus zeamais*, cette étude évoque ainsi une possibilité de l'utilisation des espèces botaniques à effets insecticides et des variétés tolérantes du maïs pour une action synergique des composés d'origine végétale.

Au regard des résultats issus de différentes études menées en rapport avec cette thèse, cinq recommandations suivantes peuvent être formulées :

- La mise en pratique effective et à grande échelle des plantes à effets insecticides couplée à l'utilisation des variétés de maïs résistantes ou tolérantes permettraient de maintenir l'infestation et la prolifération de charançon du maïs à des degrés acceptables où ce dernier ne représenterait pas une grave menace pour la sécurité alimentaire de nombreux ménages ;
- L'évaluation des activités des molécules allélochimiques végétales des autres plantes locales et la formation des agriculteurs dans l'application d'une simple formulation leur offrira l'occasion de pratiquer la méthode qu'ils apprécient vis-à-vis des autres ravageurs en réduisant l'impact négatif de charançon du maïs contre les grains de maïs en stock ;
- L'évaluation de l'efficacité des effets insecticides des espèces végétales ; leur rémanence et les résidus toxiques des autres extraits de plantes rassureraient les utilisateurs et les consommateurs de consommer sans danger les aliments traités par produits phytosanitaires d'origine végétale pendant le stockage ;
- La conduite de la recherche au laboratoire et en milieu paysan des travaux de protection des produits post-récoltes et l'amélioration participative mettant en compétition différents moyens de lutte chimiques et biologiques contre *Sitophilus zeamais* permettraient de retenir et de diffuser la protection choisie par les paysans ;
- La recherche des principes actifs insecticides des plantes locales et leurs formulations simplifiées et adaptées aux conditions climatiques locales des agriculteurs. Et enfin, le besoin pressant de fabriquer les produits phytosanitaires d'origine végétale et de les soumettre à l'homologation pour leur usage et leur commercialisation éventuelle.

Ce n'est que dans ces conditions que la pratique des insecticides d'origine végétale répondra aux critères du développement durable qui sont définis dans le rapport Brundtland (1987), à savoir : écologiquement sain, économiquement viable et socialement équitable.

En tout état de cause, le développement de ces deux approches (l'agriculture biologique et l'agriculture conventionnelle) offre beaucoup de possibilités et suscite de l'intérêt pour des recherches scientifiques qui sont plus que jamais d'actualité agronomique en ce qui concerne la protection des plantes, la lutte contre l'insécurité alimentaire et la pauvreté. La lutte chimique continuera d'être un élément important dans la lutte contre les insectes ravageurs. Il faut pour cela que les molécules utilisées à cette fin soient non seulement performantes mais aussi compatibles avec les autres éléments vivants de l'environnement. En identifiant dans la plante les métabolites secondaires capables d'action insecticide, on s'assure d'abord que les nouveaux moyens de lutte biologique sont biodégradables, non polluants et sans nocivité pour l'environnement. Il est donc permis d'envisager une action plus sélective qui poussera les autres aspects de la lutte à action synergique composés d'origine végétale, en particulier la lutte biologique, à intervenir avec le maximum d'efficacité. La nature nous fournit les moyens de nous protéger contre les ravages des insectes phytophages. C'est à nous de savoir reconnaître où sont les éléments susceptibles de limiter le déficit social et économique de ces ravageurs, mais également de ne pas créer les conditions qui en favoriseraient leur prolifération. Les plantes, source de vie par la photosynthèse, renferment tous les éléments nécessaires à un meilleur équilibre entre l'humanité, les ressources végétales et les organismes phytophages.

Références bibliographiques

- Aboubakry S., 2010 :** Sensibilité de quelques variétés de blé cultivées dans la vallée du fleuve Sénégal au ravageur *Sitophilus zeamais* Motschulsky. Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master II de Biologie Animale à l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 30p.
- Adams, J.M., 1976:** "A guide to objective and reliable estimation of food losses in small scale farmer storage" – Trop. Stored Prod. Inf. 32:5-12.
- Adams, J.M. et Harman, G.W., 1977.** *The evaluation of losses in mais stored on a selection of small farms in Zambia with particular reference to developement of methologie* – TPI Publication G, pp. 109-148.
- Adams, J.M. et Schulten, G.G.M., 1978.** "Standard measurement techniques. B. Losses caused by insects, mites and microorganisms", in *Prostharvest Grain Loss Assessment Methods*, Harris, K. L. and Lindblad, C. J. – Eds., Amer. Assoc. Cereal Chemists, St. Paul, Minn. ; pp. 83 – 93.
- Addac, C., Borgemeister, C., Biliwa, A. et Meikle, W.G., 2002.** "Integrated pest management in post-harvest maize: sa case study from the Republic of Togo (West Africa)". *Agric. Ecosyst. Environ.*, **93**: 305-321. "Against six-stored product beetles", *J. Stored Prod. Res.*, 38: 395-402. *Agricole et Agroalimentaire au Sénégal*. Dakar.
- Adjanohoun, E. J., Ahyi, A. M. R., Ake, Assil., Baniakina, J., Chibon, P., Cusset, G., Doulou, V., Enzanan, A., Eyme, G., Goudote, E., Keita, A., Mbemba, C., Mollet, J., Moutsambote, J. M., Mpati, J. et Sita, P., 1988.** « Contribution aux études ethnobotaniques et floristiques en République Populaire du Congo » In : *Collection médecine traditionnelle et pharmacopée*. ACCT, Paris, pp. 21- 91.
- Akob C.A. et Ewete, F.K., 2007.** "The efficacy of ashes of four locally used plant materials against *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) in Cameroon". *Int. J. Trop. Insect Sci.*, **27**(1) : 21-26.
- Alzouma, I., 1990.** *Les problèmes de la post-récolte en Afrique Sahélienne*, In: Foua-Bi K, Philogène B. (éds). *La post-récolte en Afrique*. In : *Actes du Séminaire International de la 1^{er} post-récolte en Afrique*, Abidjan, Côte-d'Ivoire, 29 janv. -fév. 1990). Montmagny: Aupelf-Uref, 22-7.

- Alzouma, I., 2001.** Systèmes traditionnels de stockage et conservation des denrées alimentaires en Afrique. In : la lutte contre les déprédateurs des denrées stockées par les agriculteurs en Afrique. *Actes Premier coll. Int. Res. Afric. Rech. sur les Bruches*, Lomé (Togo) du 10 au 14 février 1997, p.58-72.
- Alzouma, I., Huignard J. et Lenga, A., 1996.** Les coléoptères *Bruchidae* et autres insectes ravageurs des légumineuses alimentaires en zone tropicale. In : *Post-récolte : Principes et applications en zone tropicale*. Edité par Verstraeten C., ESTEM/AUPELF. pp. 79-103.
- Amevoin, K., Glitho I.A., Monge, J.P. and Huignard, J., 2005.** Why *Callosobruchus rhodesianus* causes limited damage during storage of cowpea seeds in a tropical humid zone in Togo? *Entomol. Exp. Appl.*, **116**, 175-182.
- Amotabi, C.I., 1994.** Field evaluation of some insecticides for the control of insect pests of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) in the Sudan Savanna of Nigeria. *Jour. Pest Management*, 40 : pp.13-17.
- Anon., 1969.** Rapport d'activités de la commission d'évaluation des pertes dans les denrées stockées crié à l'issue du Congrès de Marseille sur la protection des cultures tropicales – L'agron. Trop., Noget 24 (9), 872-876.
- Anonyme, 1980.** GTZ : Problème de post-récolte, documentation sur un séminaire OUA-GTZ. Typo Druch-Rossdorf de GMH, 0-6101 Rossdorf, Bruchwiesenweg 19, Rép. Fédérale d'Allemagne, 288 P.
- Anonyme, 1985.** FAO Training Series No. 10, FAO, Rome, *Prevention of post-harvest food losses: A Training Manual*, 120 p.
- Anonyme, 1986.** FAO, Rome, *Prévention des pertes de produits alimentaires après récolte*. 134 p.
- Anonyme, 1988.** Ministère de la Coopération et du Développement, Paris, *Conservation des grains en Régions Chaudes*, CEEMAT, Paris, 529 p.
- Anonyme, 1991.** Annuaire de statistiques agricoles, Service National des Statistiques Agricoles (SNSA), Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural, Projet PNUD/FAO : ZAÏ/96/003.
- Anonyme, 1997.** Banque Mondiale, Washington. « Faire reculer la pauvreté en Afrique subsaharienne », 215 p.
- Anonyme, 2001a.** FAO. Deuxième forum mondial FAO/OMS des responsables de la sécurité sanitaire des aliments. Bangkok (Thaïlande), 12-14 octobre 2004.

- Anonyme, 2001b.** FAO. *Les pesticides pérимés menacent l'Afrique d'une catastrophe sanitaire. Afrique relance.* ONU, 15 :42 p.
- Anonyme, 2003.** PAN AFRICA (Pesticide Action Network), *les pesticides au Sénégal.* 2^{ème} édit. Dr. Abou Thiam et Dr. Alassane Sarr, eds. 75 p.
- Anonyme, 2008a.** *Gestion des populations de ravageurs pour un développement durable en Afrique.* Résumé du 3^{ème} Colloque international du REARB et 1^{er} Colloque du COMEC/PV à l'université de Lomé, 33p.
- Anonyme, 2008b.** PAM (Programme Alimentaire Mondial), *Rapport d'analyse du marché. République Démocratique du Congo : commerce des céréales.* World Food Programm.
- Appert, J., 1985a.** *Le stockage des produits vivriers et semenciers*, Tome 1, Editions : Maisonneuve et Larose et A.C.C.T., premier volume, Paris, 113 p.
- Appert, J., 1985b.** *Le stockage des produits vivriers et semenciers*, Tome 2, Editions : Maisonneuve et Larose et A.C.C.T., deuxième volume, Paris, 112 p.
- Appleby, J.H. et Credland, P.F., :2003.** *Variation in responses to susceptible and resistant cowpeas among west African populations of Callosobruchus truncatus (Coleoptera : Bruchidae).* J. Econ. Entomol., 96(2), 489-502.
- Arnason, J.T., Durst, T., et Philogene, B.J.R., 2002.** *Prospection d'insecticides phytochimiques des plantes tempérées et tropicales communes ou rares* In : *Biopesticides d'origine végétale*, 1^{ière} édition, Lavoisier, Paris, TEC & DOC, pp. 40-75.
- Arnason, J.T., Durst, T., Philogene, B.J.R. et Scott, L.M., 2008.** *Prospection d'insecticides phytochimiques de plantes tempérés et tropicales communes ou rares*, 88-99. In Regnault-Roger, C., Philogène; B.JR et Vincent, C. (éds). *Biopesticides d'origine Végétale* 2^{ème} édition. Lavoisier, Paris, TEC et DOC, pp. 50 - 82.
- Ashamo, M.O., 2006.** *Relative susceptibility of some local and elite rice varieties to the rice weevil, Sitophilus oryzae L. (Coleoptera: Curculionidae).* J. Food Agric. Environ., 4(1), 249-252.
- Athié, I., Bell, C.H. et Wilson, S.M., 1998.** *Effects carbon dioxide and phosphine mixtures on resistant populations of stored-grain insect.* J. Stored Prod. Res., 34 (1), 77-32.

- Auger, J., Arnault, I., Diwo-Allain, S., Ravier, M., Molia F. et Pettiti M., 2004.** Insecticidal and fungicidal potential of *Allium* substances as biofumigants. *Agroindustria*, 3: 367-370.
- Bekele, L. et Hassanali, A., 2001.** « *Biend effects in the toxicity of the essential oil constituents of Ocimum kilimandscharicum and Ocimum kenyse (Labiatae) on tow post-harvest insect pests* », *Phytochemistry*, pp 385-391.
- Bekon, K., et Fleurat-Lessard, F., 1989.** Évolution des pertes en matière sèche des grains dus aux ravageurs secondaires : *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coléoptère; Tenebrionidae), lors de la conservation des céréales, In *Céréale en régions chaudes*. AUPELF-UREF, John Libbey Eurotext, Paris, pp. 97-104.
- Bell, A., Muck, O., Mutulu, P. et Schneider, H., 1998.** *La protection intégrée des denrées stockées est une affaire rentable*. GTZ. Eschborn. 37p.
- Bell, R.J. et Watter, FL., 1982.** Environmental factors influencing the developnmental and rate of increase of *Prostephanus truncatus* (Horn).
- Benhalima, H., Chaudhry, M.Q., Mills, K.A. et Prince, N.R., 2004.** Phosphine resistance in stored-product insects collected from various grain storage facilities in Morocco. *J. Stored Prod. Res.*, 40, 241-249.
- Betanzos, M.E., 1988.** Selection de variedades de maiz de alta calidad proteinica por resistencia al picudo del maiz *Sitophilus zeamais* Motsch. 1. Correlaciones entre características del grano e indicadores de resistencia. *Agri Tec Mex* ; 6 : 45-66.
- Boeke, S.J., Baumgard, I. R., Van Huis, A., Dicke, M. et Kossou, D.K., 2004.** *Toxicity and repellence of African plants traditionally used for the protection of stored cowpea against Callosobruchus maculatus* Fabricius. *Journal of stored products Reasearch* 40: 423-438.
- Boye, I., Burde, S., Keil, H., Laborius, G.-A. et Schulz, F.A., 1988.** « *The possibilities for biological integrated control of the larger grain borer (Prostephanus truncatus (Hom) in Africa* », In Schulten, G. G. M and Toet, J A. (eds.), *Workshop on the containment and control of the larger grain borer*, Arusha, Tanzania Food and Agriculture Organization, Rome, United Nations, pp 110-139.
- Camara, M., 1997.** *Recherche sur les nouvelles substances biocides végétales - Application au contrôle des bruches de niébé Callosobruchus maculatus* Fab. et de

- l'arachide Caryedon serratus* Ol. Mémoire de diplôme d'ingénieur agronome à l'Ecole nationale supérieure d'agriculture de Thiès, 72p.
- Carlos, J. et Sousa, K., 2006.** « Exposition humaine aux pesticides : un facteur de risque pour le suicide au Brésil », *Verts-La revue en science de l'environnement*, 7 : 18-129.
- Chiasson, H, Delisle, U., Bostanian, N.J. et Vincent, C. 2008.***Recherche, développement et commercialisation de FACIN, un biopesticide d'origine végétale. Étude d'un cas de réussite en Amérique du Nord*, p. 451-463. In Regnault-Roger, C., Philogène, B.J.R. et Vincent, C. (éds). *Biopesticides d'origine Végétale 2ème édition*. Lavoisier, Paris, TEC et DOC, 550 p.
- Chifundera, K., Baluku, B. et Mashimango, B., 1993.**Phytochemical screening and molluscicidal potency of some zaire an medicinal plants. *Pharmacological Research* 28(4), 333-339.
- Cilss, S., 2009.***Liste globale actualisée des pesticides autorisés par le CSP en juillet 2009*, [http://www.insah.org/ protection des végétaux/csp/pesticidautorise.html](http://www.insah.org/protection%20des%20végétaux/csp/pesticidautorise.html).
- Cloutier, C., 1992.** « *Les solutions biologiques de lutte pour la répression des insectes et acariens ravageurs des cultures* ». In, *la lutte biologique*, Vincent, C., et Coderre, D. (éd). Boucherville, Gaëtan Morin Ed., pp. 19-88.
- Coraf, S., 2007.***Programme de productivité agricole en Afrique de l'ouest. Plan de gestion des pestes et pesticides. Rapport E1553, V 2*. Dakar : CORAF ; Banque Mondiale.
- Cowley, R.J., Howard, D.C. et Smith, R.H., 1980.***The affect of grain stability on damage caused byProstephanus truncatus (HORN) and three other pests of stored maize J. Stored Prod. Res.*, 16: 75-78.
- Cruz, J.F., Troude, F., Griffon, D. et Hébert J.P., 1988.**Conservation des graines en régions chaudes. 2 éd. Coll. Minist. Fr coop et Dév. <<*Techniques rurales en Afrique*>>, CEEMAT/CIRAD, Montpellier, 545 p.
- Dabiré, C., 1992.**Les méthodes traditionnelles de protection des stocks de niébé au Burkina Faso. *Sahel PV-Info*, 42: 7-13.
- Dagnelie, P., 1986.***Les principes d'expérimentation*, les presses agronomiques de Gembloux, 4^{ème} Edition, vol 1 & 2 Belgique.
- Dauguet, S., Lacoste, F., Ticot, B., Loison, J-P., Evrard, J., Bouchtane, B. et Soulet, B., 2006.** « *La filière oléagineuse se mobilise autour de la problématique des*

- résidus d'insecticides. Qualité et sécurité sanitaire des aliments ».*
Oléagineux, Corps Gras, Lipides. 13 :6,373-377.
- Delobel, A., 1994.***Les insectes ravageurs des tubercules et racines en Afrique tropicale: biologie, mesures de protection et méthodes de lutte. In: Post-récolte, principes et application en zone tropicale.* ESTEM/AUPELF, Verstraeten et al. Eds. : pp. 63-78.
- Delobel, A. et Malonga, P., 1987.**« *Insecticidal properties of six plants materials against *Caryedon serratus* (OL.) Coleoptera: Bruchidae* ». *J. Stored Prod. Res.*, 23: 173-6.
- Delobel, A. et Tran, M., 1993.***Les coléoptères des denrées alimentaires entreposées dans les régions chaudes.* Faune Tropicale XXXII. ORSTOM/CTA Eds, Paris, 424 p.
- Djian-Caporalino, C., Bougy, G. et Cayrol, J-C., 2002.**Plantes nématocides et plantes résistantes aux nématodes In Regnault-Roger C., Philogène B.J.R., Vincent C., Biopesticides d'origine végétale. Lavoisier Tec et Doc, Paris, 53-66.
- Djidonou, E., 2000.***Contribution au recensement des composantes de la biodiversité pour une lutte intégrée contre les bruches du niébé (*Vigna unguiculata* L. Walp) : cas de la zone de transition, Plateau-Vallée de l'Ouémé au Bénin.* Mémoire d'Ingénieur Agronome FSA/UNB 128 p.
- Djossou, J., 2006.***Etude des possibilités d'utilisation des formulations à base de fruits secs de *Xylopi aethiopica* Dunal (Annonaceae) pour la protection des stocks de niébé contre *Callosobruchus maculatus* Fabricius (Coleoptera : Bruchidae).* Faculté des Sciences Agronomiques de Gembloux Belgique, Master en Sciences.
- Dobie, P., 1977.**The contribution of the tropical stored products centre to the study of insect resistance in stored maize. *Trop Stored Prod Inf*; 34: 7-22.
- Dunkel, FV., Weaver, DK. et Van Puelde L., 1990.***Growth regulatory effects of Rwanda medicinal plant, *Tetradeniariparia* (Hochst) COOD (Lamiaceae) on stored grain and bean insects.* In: Fleurat-Lessard F & Ducom P (coord.). *Proceedings 5th International Working Conference on Stored-Products Protection* (vol. III), Bordeaux, 1609-1618.
- Dupriez, H., Niyonzima, S. et Colin, J., 2000.***Champs et jardins sains : lutte intégrée contre les maladies et les ravageurs des cultures.* Carnets écologiques no 11, CTA, Terres et Vie, Nivelles, 240 p.

- Farr, S.L., Cooper, G.S., Cai J., Savitz, D.A. et Sandler, D.P., 2004.** « Pesticide use and menstrual cycle characteristics among premenopausal women in the agricultural health study ». *Am. J. Epidemiol*, 160 pp: 1194-1204.
- Farrell, G. et Schulten G.G.M., 2002.** *Larger grain borer in Africa; a history of efforts to limit its impact. Integr. Pest Manage. Rev.*, 7, 67-84.
- Ferron, P., 1989.** Préface. In : Riba G et Silvy C. *Combattre les ravageurs des cultures*, INRA, Paris, XII-XV.
- Fleurat-Lessard, F., Cruz, J.F. et Hounhouigan, J., 2016.** *Agriculture Tropicale en Poche : La conservation des grains après récolte*. Editions Quae, CTA, Presses agronomiques de Gembloux, 229 p.
- Foua-Bi, K. 1992.** Préambule. In: Foua-Bi K, Philogène B, oos. 1990. *La post-récolte en Afrique: Actes du Séminaire International de la Post-Récolte en Afrique*, Abidjan, Côte d'Ivoire 29 jan -1er fév. Montmagny. Aupelf-Uref, 152-4.
- Genest, C., Traoré, A. et Bamba, P., 1990.** Guide pratique de protection des grains entreposés. Coop. CANADO-BURKINABE .MAE.ACDI, 105p.
- George, D.R., 2009.** *Mode of action and variability in efficacy of plant essential oils showing toxicity against the poultry red mite, Dermanyssus gallinae. Vet. Parasitol.*, 161, pp. 276-282.
- Gilliom, R.J., Barbash, E., Kolpin, D.W. and Larson, S.J., 1999.** «Testing water quality for pesticide pollution. U.S. Geological survey investigation reveals widespread contamination of the nation's water resources». *Environ. Sei. Technol.*, 33, 164A169A
- Glitho, I.A., 2002a.** *Annexe : post-récoltes et biopesticides en Afrique. In: Regnault-Roger C., Philogène B.J.R. et Vincent C., coord. Biopesticides d'origine végétale* 1^{ière} édition. Lavoisier, Éditions Tec et Doc., pp. 314-321.
- Glitho, I.A., 2002b.** *Post-récolte et biopesticides en Afrique. In Regnault-Roger, C., Philogène, B.J.R. et Vincent, C. (coor). Biopesticide d'origine Végétale* 1^{ière} édition. Lavoisier, Edition TEC et DOC, Paris, 313-321. 132
- Golob, P., 1984.** *Prostephanus truncatus* (Horn), the larger grain borer in East Africa : the development of a control strategy. *Proc 3rd Int. Wkg, Conf on Stored Product Entomol*, Manhattan, Kansas, 1983 pp. 711-721.
- Golod, P. et Weley D.J., 1980.** The use of plants and minerals as traditional protectants of stored products. Tropical Products Institute Publications, 138, 1 – 32.

- Golob, P., Moss, C., Dales, M., Fidgen, A. Evan, J. et Gudrups, I., 1999***The use of spices and medicinals as bioactive protectants for grains. FAO Agricultural Services Bulletin*, 137.
- Gomez, L.A., Rodriguez, J.G., Poneleit, C.G. et Blake, D.F., 1983.** Relationship between some characteristics of the corn Kemel pericarp and resistance to the rice weevil (Coleoptera: Curculionidae à J Econ Entomol; 76: 797-800.
- Goossens, F., Minten, B. et Tollens, E., 1994.***Nourrir Kinshasa : l'approvisionnement local d'une métropole africaine. Collection « Zaïre-Histoire et Société », Editions L'Harmattan, Paris, France. 388p.*
- Grainge, M. et Ahmed, S., 1988.***Handbook of plants with pest-control properties.*John Wiley, New York.
- Gueye, M.T., 2000.***Structure et évolution des peuplements de C. serratus, déprédateur de l'arachide entreposée en milieu sahélien. Thèse de doctorat : Université Cheikh AntaDiop, Dakar (Sénégal).*
- Gueye, M.T., 2008a.***First report on occurrence of the larger grain borerProstephanustruncatus(Horn) (Coleoptera: Bostrichidae) in Senegal. Afr. Entomol., 16(2), 309-311.*
- Gueye, M.T., 2008b.***La protection des stocks de maïs au Sénégal : enquêtes sur les pratiques d'utilisation des pesticides et plantes à effet insecticide en milieu paysan. IITA Échos.*
- Gueye, M.T. et Delobel A., 1999.***Relative susceptibility of stored pearl millet products and fonio to insect infestation.J. Stored Prod. Res., 35, 277-283.*
- Guèye, M.T., Seck D., Wathelet, J-P.et Lognay, G., 2011.***Lutte contre les ravageurs des stocks de céréales et de légumineuses au Sénégal et en Afrique occidentale : synthèsebibliographique. Biotechnol. Agron. Soc. Environ .15(1): 183-194.*
- Gwinner, J., Hamisch, R et Muck, O., 1996.***Manuel sur la manutention et la conservation des grains après récolte, GTZ, Eschborn, 368p.*
- Hall, D.W., 1970.***Handling and Storage of Food Grains, in Tropical and Subtropical Areas, FAO.Rome, 350 p.*
- Halstead, D.G.H., 1963.**External sex differences in stored products Coleoptera.Bull. Entomol. Res. 54 : 119-134. [DOI:10.1017/S0007485300048665](https://doi.org/10.1017/S0007485300048665)

- Hamraoui, A. et Regnault-Roger, C., 1997.** *Comparaison des activités insecticides des monoterpènes sur deux espèces d'insectes ravageurs des cultures Ceratitis capitata et Rhopalosiphum padi.* Acta Bot. Gallica, 144 : 413-417.
- Harbone, J.B., 1988.** *Introduction to Ecological Biochemistry.* Academic Press, London
- Harnisch, R., 1980.** *Examen de l'effet de substances naturelles sur le maïs infesté par Sitophilus zeamais, dans GTZ, 1980. Problèmes de post-récolte (Documentation sur un séminaire OUA/GTZ) pp. 133-137.*
- Harnisch, R., 1981.** *Techniques d'application dans la lutte contre les insectes nuisibles des produits stockés : Problèmes post – récolte, Documentation sur un séminaire OUA/GTZ, Lomé, pp. 180 – 196.*
- Haubruge, E. et Amichot, M., 1998.** *Les mécanismes responsables de la résistance aux insecticides chez les insectes et acariens.* Biotechnol. Agron. Soc. Environ. 2 (3) : pp. 161-174.
- Haubruge, E. Shiffers, Gabriel, B. et Verbruggen E., 1988.** « Étude de la relation dose efficacité de six insecticides à l'égard de Sitophilus granarius L., S. oryzae L., et S. zeamais Motsch. (Col., Curculionidae) ». Med. Fac. Landbouww. Rijks univ. (Gent), 53: 719-26.
- Heiser, C.B. Jr., 1973.** *Seed to civilization.* WH Freeman, San Francisco. 243 pages.
- Herron, A.G., Clift, A.D., White, G.G. et Greening, H.G., 1996.** *Relationships between insecticide use, grain hygiene and insecticide resistance in Oryzaephilus surinamensis (L.) (Coleoptera: Silvanidae) on grain producing farms.* J. Stored Prod. Res., 32(2), pp. 131-136.
- Hill, M.G., Nang'ayo, F.L.O. et Wright, D.J., 2003.** *Biological control of the larger grain borer Prostephanus truncatus (Coleoptera: Bostrichidae) in Kenya using a predatory beetle Teretrius nigrescens (Coleoptera : Histeridae).* Bull. Entomol. Res., 93, 299-306.
- Ho, S. H., Koh, L., Ma, Y., Huang, Y., et Sim, K. Y. 1996.** « The oil of garlic, *Alium sativum* L. (Amaryllidaceae), as a potential grain protectant against *Tribolium castaneum* (Herbst) and *Sitophilus zeamais* Motsch ». *Postharvest Biol. Technol.*, 9: pp. 41-45. 133
- Howard, D. C., 1984.** *The ability of Prostephanus truncatus to breed on different maize varieties, Proc. GASA workshop on the larger grain borer Prostephanus truncatus, 24-25 febr 1983. TPI Slough Publ GTZ Eschborn, pp. 17-31.*

- Huignard, J., Glitho I.A., Monge, J.-P. et Regnault-Roger C., 2011.** Insectes ravageurs des graines de légumineuses. Biologie des Bruchinae et lutte raisonnée en Afrique. Collection Update Sciences et Technologies. Editions Quae, Paris, France.
- Huis, A. Van., Schutte, C., Cools, M.H., Famget, P., Van Der Hoer, K. et Piquet, S.P., 1994.** *The role of semiochemicals in host location by *Uscana lariophaga*, egg parasitoid of *Callosobruchus maculatus*. Proceeding 6th International working conference on stored product protection.* April 17-23, 1994. Camberra, Australia, vol.2, pp.1158-1164.
- Hywarsd, A., 1983.** *La mesure des pertes du mil infesté durant le stockage* – Symposium sur la protection des stocks céréaliers en zone sahélienne, Actes du séminaire de Dakar, 1983 ; pp. 100 – 106.
- IITA, 2008.** *La protection des stocks de maïs : enquête sur les pratiques d'utilisation des pesticides et des plantes à effet insecticide en milieu paysan. Bulletin de vulgarisation de la recherche et du développement agro-alimentaire au Sénégal.* (03) :6.
- Ilo-Wep., 1986.** *Le Stockage du Grain.* Edité par BIT et ONUDI, ISBN 92-2-205415-6 140 p.
- Isman, M. B., 2002.** *Problèmes et perspectives de commercialisation des insecticides d'origine botanique.* In : *Biopesticides d'origine végétales.* 1^{ière} Edition, Lavoisier, TEC & DOC, Paris, pp. 300-311.
- Isman, M.B., 2006.** « *Botanical insecticides, deterrents, and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated world* ». *Ann. Rev. Entomol*, 51:45-66.
- Ivbijaro, M F., 1980.** *The resistance of new varieties of maize to post-harvest infestation by *Sitophilus zeamais* Motsch. and *Sitophilus oryzae* (L.).* *Agric Sci Com* ; 96 : 479-481.
- Jacobson, M., 1989.** *Botanical pesticides.* Past, Present and Futur. In : Arnason JT, Philogène BJR, Morand P. *Insecticides of plant origin.* American Chemical Society Symposium Series n° 387, Washigton DC, USA, 1-8.
- Kankode, M. et Tollens, E., 2001.** « *Sécurité alimentaire au Congo-Kinshasa : production, consommation et survie* » Collection Congo – Zaïre, Histoire et Société – L'Harmattan, 478 p.
- Kéita, S.M., Amason, J.T., Baum, B.R., Marles, R., Camara, F., et Traoré, A.K., 1999.** « *Étude ethnopharmacologique traditionnelle de quelques plantes*

- médicinales anthelminthiques de la Haute-Guinée (République de Guinée) ». *Revue Med. Pharm. Afr.*, 13 : pp. 49-64. 134
- Kéita, S. M., Vincent, Charles., Schmit J. P., Rammaswany S. et Belanger, A., 2000.** Effet of various essential oils on *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Bruchidae). *Journal of stored products Research*. 36 : pp. 355-364.
- Kéita, S.M., Vincent, C., Schmit, J.P., Arnason, J.T. et Bélanger, A. 2001.** « Efficacy of essential oil of *Ocimum basilicum* L. and *O. gratissimum* L. Applied as an insectidal fumigant and powder 10 control *Callosobruchus maculatus* Fab. (Coleoptera: Bruchidae) ». *J Stored Prod. Res.*, 37: pp. 339-349.
- Ketoh, G.K., Glitho, I.A. et Huignard, J., 2002.** Susceptibility of the bruchid *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Bruchidae) and its parasitoid *Dinarmus basalis* (Hymenoptera: Pteromalidae) to three essential oils. *J. Econ. Entomol.*, 95(1), pp. 174-182.
- Kibungu, A.O., 1990.** Quelques plantes médicinales du Bas-Congo et leurs usages. Edition, Mystole, Canterbury. 197 p.
- Kiendrebeogo, M., Ouedraogo, A.P. et Nacoulma, O.G., 2006.** Activités insecticides de *Striga hermonthica* (Del.) Benth (Scrophulariaceae) sur *Callosobruchus maculatus* (Fab.) (Coleoptera : Bruchidae). *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 10(1) : 17-23.
- Kodio, O., 1989.** Structures paysannes de stockage, dans « Céréales en régions chaudes : conservation et transformation », Actes Coll. Int. De Tech, N'Gaoundéré (Cameroun) 22-26 février 1988, p.19-25.
- Kolama, A., Kitambala, K., Ndjango, N.L., Sinzahera, U. et Paluku, T., 2008.** Effet des poudres d'*Eucalyptus citriodora*, de *Cupressus lucitanica* et de *Tagetasminitiflora* dans la conservation du maïs (*Zea mays*) et haricot (*Phaseolus vulgaris*) dans les conditions de Rethy (République Démocratique du Congo).
- Konde, K. M., Mbembe, B., Bavukinina, N. et Itufa Y'oloo., 1992.** Contribution à l'inventaire des plantes alimentaires spontanées au Zaïre. *Al Biruniya, Rév. Mar. Phar.*, 8 (2) : pp. 97 – 109.
- Kossou, D.K. et Aho, N., 1993.** Stockage et conservation des grains alimentaires tropicaux : Principes et Pratiques. Les éditions du Flamboyant, Paris, France 125p.

- Kouakou, C.K., 2004.***Diversité génétique des variétés traditionnelles de niébé (Vigna unguiculata (L.) Walp.) au Sénégal .DEA de Biologie végétale à l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 50p.*
- Kumar, R., 2002.***Resistance in maize to the Larger Grain Borer, Prostephana truncatus (Horn) (Coleoptera: Bostrichidae). J. Stored Prod. Res., 38, 267-280. L. oil and two of its constituents against five insect pests*
- Latham, P. et Konda ku Mbuta, A., 2007.***Les plantes utiles du Bas-Congo. 2^{ème} Edition, Mystole, Canterbury. 344p.*
- Latham, P. et Konda ku Mbuta, A., 2010.***Les plantes utiles du Bas-Congo. 1^{ère} Edition, Mystole, Canterbury. 372p.*
- Lauwerrys, R., 1990.***Toxicologie industrielle et intoxications professionnelles, Masson, Paris.*
- Lenting, M.I., 2000.***Preferences and performances of Callosobruchus maculatus F. (Coléoptera: Bruchidae) on pods of various plant species towards natural vegetation manipulation on cowpea production in Benin. Thesis of Msc n°003. Univ. Wageningen, 31p.*
- Léonard, ST.N., 2004.***« A la recherche d'une alternative aux polluants organiques persistants ». In Bul. D'information Phytosanitaire-Phytosanitary News Bulletin .43 Avril -juin 2004.*
- Lienard, V. et Seck, D., 1994.***Revue des méthodes de lutte contre Callosobruchus maculatus F. (Coléoptera : Bruchidae), ravageur des graines de niébé (Vigna unguiculata L. Walp.) en Afrique Tropicale. Insect Sci. Appli. 15 (3):301-311.*
- Loma, T., 1990.***Les pesticides, l'agriculture et l'environnement au Zaïre, CRPA/IPN, Kinshasa.*
- Matsumura, F., 1975.***Toxicology of insecticides. Plenum Press, New York.*
- Mohandas, S.M., Arthur, F.H., Zhau, K. Y. et Throneet, J.E., 2006.***Hydrogene : mode of action, current status in stored-product pest management, insect resistance, and future prospects. Crop Prot., 25. 902-909.*
- Mumba, D., 2016.***Héritabilité résistance à la rayure chez l'orge de printemps, Editions universitaires européennes, 164p.*
- Mucchielli, R., 1979.***Questionnaire dans l'enquête psycho-sociale, ESP, Paris.*

- Munyuli, B. M. T., 2001.***Farmer's perception of bean problems in Kivu area, Democratic Republic of Congo.*African Crop Science Conference Proceedings; 5: 705-13.
- Munyuli, B.M.T., 2009.***Is Pardosapseudoannulata an effective predator agent of Aphis craccivora in Uganda and Democratic Republic of Congo.*Tunisian Journal of plant Protection 4: 91-7
- Munyuli, M.B.T. et Balezi, N., 2001.** Utilisation des poudrages des plantes médicinales à propriétés insecticides dans la protection des semences et denrées alimentaires stockées (maïs, haricot, sorgho) contre les coléoptères ravageurs des stocks, au Kivu, République Démocratique du Congo. African Crop Science Conference Proceedings, Vol. 5.pp.293-303.
- Munyuli, M.B.T., Luther, G.C. et Kyamanywa, S., 2007.***Effects of cropping systems and insecticides on arthropod predators in Uganda and Democratic Republic of Congo.*Crop Protection 26: pp. 114-126.
- Munyuli, M.B.T., Luther, G.C. et Kyamanywa, S., 2009.***Effects of cropping system and insecticides application on incidence of arthropod of cowpea insect pest in Uganda and Democratic Republic of Congo.* Tunisian Journal of plant Protection 4: pp. 77-90.
- Nansen, C. et Meikle, W.G., 2002.***The biology of the larger grain borer, Prostephanus truncatus (Horn) (Coleoptera: Bostrichidae).* Integr. Pest Manage. Rev., 7: 91-104.
- Nansen, C., Meikle W.G. et Korié S., 2002.***Spatial analysis of Prostephanus truncatus (Bostrichidae: Coleoptera) flight activity near maize stores and in different forest types in southern Benin, West Africa.* Ann. Entomol. Soc. Am., 95(1) : 66-74.
- Nasseh, M.O., 1983.** Wirkung von Rohextrakten aus *Allium sativum* L. auf Getreideblautläuse *Sitobion avenae* F. und *Rhopalosiphum padi* L. sowie die Grüne Pfirsichblattlaus *Myzus persicae* Sulz. Z. ang. Entomol., 95, 228-230.
- Ndiaye, A., 2005.***Les céréales.* In : *Bilan de la Recherche agricole et agroalimentaire au Sénégal.* Dakar : Institut Sénégalais de Recherches Agricoles (ISRA), Institut de Technologie Alimentaire (ITA), CIRAD, pp. 241-256.
- Ndju-Essaho, P. et Mbayo, M., 2017a.***Essai de l'évaluation de la résistance des variétés de manioc (Manihot esculenta Crantz) contre les acariens verts du manioc*

- (*Mononychellus tanajoa*) à Kimwenza-Gare (Kinshasa-RD.Congo). Centre de Recherche Interdisciplinaire/UPN. N° 072e Avril-Juin 2017.
- Ndju-Essaho, P. et Mbayo, M., 2017b.** Essai de la pratique des pesticides d'origine végétale dans la lutte contre la rouille de baselle (*Basella alba* L.) à Kinshasa, (RD-Congo). Centre de Recherche Interdisciplinaire/UPN. N° 071d Avril-Juin 2017.
- Ndju-Essaho, P. et Nyongombe, U., 2017.** Evaluative study of the damage caused by insect pests to food products in general and maize, cassava and then cowpeas stored in the warehouses of the markets of the city of Kinshasa. *Agricultural Science Research Journal* Vol. 7(3) : 223-232, March 2017.
- Ndju-Essaho, P., Tata Hangy, K. et Loma, T., 2017a.** Utilisation des poudres des bioinsecticides d'origine végétale dans la protection des graines de niébé (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) en conservation contre l'ordre des coléoptères (*Callosobruchus maculatus* Fab.) en conservation à Kinshasa, (RD-Congo). Centre de Recherche Interdisciplinaire/UPN. N° 071d Avril-Juin 2017.
- Ndju-Essaho, P., Loma, T. et Mumba D., 2017b.** Evolution of bio-control of plant origin with different doses *Vernonia amygdalina* (Del.) for the protection of maize stocks against *Sitophilus zeamais* Motschulsky in Kinshasa *Agricultural Science Research Journal* Vol. 7(4) : 315-320, December 2017.
- Ngamo, L.S.T., Ngassoum, M.B., Jirovetz, L., Adjoudji, O., Nukenine, E.C. et Moukala, O.E., 2001.** Protection of stored maize against *Sitophilus zeamais* (Motsc) by the use of essential oils of species from Cameroun. *Med. Fac. Landbouww. Univ. Gent*, 66/2a., pp. 473-478.
- Ngamo, L. S. T., Goudoum, A., Ngassoum, M. B., Mapongmetsem, Lognay G., Malaisse, F. et Hance, T., 2007.** Chronic toxicity of essential oils of 3 local aromatic plants towards *Sitophilus zeamais* Motsch. (Coléoptera: Curculionidae). *African Journal of Agricultural Research*. 2 (4): 164-167.
- Ngamo, L.S.T. et Hance, T., 2007.** Diversité des ravageurs des denrées et méthodes alternatives de lutte en milieu tropical. *Tropicultura*. 25 (4): 215-220.
- Ndomo, A.F., Tapondjou, A.L., Tendonkeng, F. et Tchouanguep, F.M., 2009.** Evaluation des propriétés insecticides de feuilles de *Callistemon viminalis* (Myrtaceae) contre les adultes d'*Acanthoscelides obtectus* (Say) (Coléoptera; Bruchidae). *Tropicultura*. 27(3) : 137-143.

- Ngongo, D., 2007.** Cours de Pédagogie expérimentale, 1ère Licence, Production et Défense des Végétales, UPN, 2007, Inédit.
- Noudjou-Wandji, F., 2007.** *Utilisation des huiles essentielles pour la protection des grains contre les insectes ravageurs au nord du Cameroun.* Thèse de doctorat : Faculté des Sciences agronomiques de Gembloux (Belgique).
- Nwanze, K. F., Horber, E. et Pitts, W., 1975.** Evidence for ovipositional preference of *Callosobruchus maculatus* for four varieties of cowpea. *Environn. Ent.* 4: pp. 409-412.
- Ogendo, J.O., 2008.** *Bioactivity of Ocimum gratissimum* Nier, N.B., Hellenius, J. and Varis, A.L. 1992. « Toxicity of plant extracts to three storage beetles (Coleoptera) ». *J. Appl. Ent.* 113: 202-208.
- Ogendo, J.O., Deng, A.L., Belmain, S.R., Walker, D.J. et Musandu, A.O. 2004.** « Effect of Insecticidal Plant Materials, *Lantana camara* L. and *Tephrosia vogelii* Hook, on the Quality Parameters of Stored Maize Grains ». *Journal of Food Technology in Africa* 9, 1: pp. 29-35.
- Onautshu O., 2013.** Caractérisation des populations de *Mycosphaerella fijiensis* et épidémiologie de la cercosporiose noire du bananier dans la région de Kisangani (RD-Congo). Thèse de doctorat, Faculté d'ingénierie biologique, agronomique et environnementale. Université Catholique de Louvain. 309p.
- Pamplona-Roger, G. 2000.** *Guide des plantes médicinales, Volume I, Bibliothèque Education et Santé*, Editions Vie et Santé, Paris, France, pp. 44-76.
- Pantenius, C. U., 1988.** Etat des pertes dans les systèmes de stockage du maïs au niveau des petits paysans de la région maritime du Togo. GTZ-Projet für Nacherntefragen. Pickhuben 4, D-2000 Hamburg 11, RFA.
- Paul, U.V., Lossini, J.S., Edwards, P.J. et Hilbeck, A., 2009.** *Effectiveness of products from four locally grown plants for the management of Acanthoscelides obtectus (Say) and Zabrotes subfasciatus (Boheman) (both Coleoptera: Bruchidae) in stored beans under laboratory and farm conditions in Northern Tanzania.* *J. Stored Prod. Res.*, 45, 97-107. 194
- Pauwels, L., 1993.** *Nzayilu N'tu Guide des arbres et arbustes de la région de Kinshasa et Barzaville.* Jardin botanique national de Belgique, Meise. 495 p.
- Philogène, B.J.R., 1984.** *Successes and future prospects for host plant resistance in integrated control systems* In : Allen G, A Rada, éd. *Proc of the Int Symp : The role of biological control in pest management.* IOBC/WHRS, 42-61.

- Philogène, B.J.R, Arnason J.T. et Lambert J.D.H., 1989.** *Céréales en régions chaudes*. AUPELF-UREF, Eds. John LibbeyEurotex, pp. 141-150.
- Philogene, B.J.R, Regnault-Roger, C. et Vincent C., 2002.** *Produits phytosanitaires insecticides d'origine végétale : promesses d'hier et d'aujourd'hui*. In: Philogène B.J.R, Regnault-Roger C. & Vincent C., coord. *Biopesticides d'origine végétale*. Paris : Lavoisier-Éditions Tec & Doc, pp. 1-17.
- Philogène, B.J.R, Regnault-Roger, C. et Vincent, C., 2008.** *Biopesticides d'origine végétale : bilan et perspectives*, p.1-24. In Regnault-Roger, C., Philogène, B.J.R., Vincent, C. (éds) *Biopesticides d'origine végétale*, 2^{ème} éd., Lavoisier, Paris.
- Piltz, H., 1981.** *Principes fondamentaux de l'entreposage ; Problèmes de post-récolte : Documentation sur un Séminaire OUA/GZT*, Lome, pp. 16 – 31.
- Pimentel, M.A.G., Appleby, J.H. et Credland, P.F., 2009.** Phosphine resistance Brazilian populations of *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera : Curculionidae). *J. Stored Prod. Res.*, 45.71-74.
- Pululu Mfwidi Nitu, G, Nsimba Lubaki Makuta, C. et Lumbu Mbala, S., 2011.** Pesticides radiés sur les marchés de l'Union Européenne et vendus à Kinshasa, Cahiers de l'ISP/Gombe, N°15, 1526p.
- Raboud, G., Havarez, M. et Sieber, J., 1984.** *Evaluation method for post production losses of basic grains (maize, beans, sorghum) for the small and medium producers in Honduras*, Central Amerika – Secretaria de Recursos Naturales, Cooperacion Suiza al Desarrollo (Cosude) I + 14 pp.
- Raponda-Walker, A. et Sillans, R., 1985.** *Les plantes utiles du Gabon*. Libreville: Fondation Raponda-Walker-Sépia, Centre Culturel Saint Exupéry 1995, 614 p.
- Ratnadass, A. et Sauphanor, B., 1989.** *Les pertes dues aux insectes sur les stocks paysans de céréales en Côte d'Ivoire*. *Céréales en régions chaudes*. Paris : Aupelf-Uref, John Libbey Eurotext, 141-150.
- Raven, P.H., Berg, L.R. et Hassenzahl, D.M., 2009.** *Environnement*, Editions De Boeck Université, Nouveaux Horizons-ARS, Paris : 581-603.
- Ravololonandrianina, J. E. et Rabeatoandro, G. J., 1996.** Les locaux et récipients de stockage traditionnels en Afrique et à Madagascar. In : Protection des denrées stockées à Madagascar. *Symposium*, Tolaria (Madagascar), 7 au 11 Octobre 1996, p.

- Regnault-Roger, C., 1999.***Diversification des stratégies de protection des plantes: intérêt des monoterpenes:Acta Bot. Gallica*, 146, pp. 35-43.
- Regnault-Roger, C., 2002.***De nouveaux phyto-insecticides pour le troisième millénaire. In: Philogène B.J.R, Regnault-Roger C. & Vincent C., coord. Biopesticides d'origine végétale. Paris : Lavoisier-Éditions Tec & Doc*, 19-39.
- Regnault-Roger, C., 2005.** Molécules allélochimiques et extraits végétaux dans la protection des denrées alimentaires en conservation. In *Biopesticides d'origine végétale*, 1^{ière} édition, Lavoisier, Paris. Édition, 350p.
- Regnault-Roger, C., Hamraoui, A., Holeman, M., Theron, E. et Pinel, R., 1993.***Insecticidal effect of essential oils from mediterranean plants uponAcanthoscelides obtectus Say (Coleoptera: Bruchidae), a pest of kidney bean(Phaseolus vulgaris L.). J. Chem. Ecol.*, 19: pp. 1233-1244.
- Regnault-Roger, C. et Vincent C., 2002.***Biopesticides d'origine végétale*, coord. 1^{ière} Edition, Paris: Lavoisier-Éditions Tec & Doc, pp. 1-17.
- Regnault-Roger, C., Philogene, B.J.R. et Vincent, C., 2002.***Biopesticides d'origines végétales. Tec & Doc Eds. Paris*, 337 p.
- Regnault-Roger. C. et Philogène,B.J.R., 2005.**Evolution des insecticides organiques de synthèse. In : Regnault-Roger (coord.) *Enjeux phytosanitaires pour l'agriculture et l'environnement*. Lavoisier, Paris, pp. 19-43.
- Regnault, R. C., Philogène, B.J.R et Vincent, C., 2008.***Biopesticides d'origine végétale*, 2^{ème} édition, Lavoisier, Paris. Édition, 550p.
- Regnault, H., Arnauld de Sartre, X. et Regnault-Roger, C., 2012.***Les révolutions agricoles en perspective. Editions France Agricole, Paris* 177 pp.
- Regnault-Roger, C., 2014.***Produits de Protection des Plantes : Innovation et sécurité pour une agriculture durable*, Editions Lavoisier TEC & DOC, Paris, pp. 41 – 95.
- Relinger, L.M., Zettler, J.L., Davis, R. and Simonaitis, RA., 1988.**«*Evaluation of pirimiphos methyl as a protectant for export grain*».J. Econ.Ent.,81 : 718-21.
- Ristanovic, D., 2001.**«*Le maïs*», dans Raemakers, H. 2001. *Agriculture en Afrique Tropicale*. DGCI, Bruxelles. pp. 44-70.
- Rodgers, P.B., 1993.**«*Potential of Biopesticides in Agriculture* ».Pestie.Sei, 117-129.

- Russell, M.P., 1962.***Effects of sorghum varieties on the lesser rice weevil, Sitophilus oryzae* (L.). I. Oviposition, immature mortality and size of adults. Ann Entomol Soc Amer ; 55 :675-685.
- Samir – Amin., 1989.***La faillite du développement en Afrique et dans le Tiers-monde*, Edition L'Harmattan, Paris, 350 p.
- Schmutterer, H., 1987.**Introduction to the third international neem conference Proc. Third Int. Neem Conf. Nairobi (Kenya), 1986/15, 17.
- Schmutterer, H., 1990.** « *Properties and potential of natural pesticides from the neem tree, Azadirachta indica*. Annu ». Rev. Entomol., 35: pp.271-297.
- Schmutterer, H., 1992.***Higher plants as sources of novel pesticides*. In: Otto D, Weber B. *Insecticides: mechanism of action and resistance*. Intercept Ltd Andover, UK, pp. 3-15.
- Schmutterer, H. et Ascher, K. R. S., 1987.**Natural Pesticides from neem tree and other tropical plants - Proceeding on the third International neem Conférence, Nairobi (Kenya) 10 - 15 july, 1986 - Eschborn, GTZ, 701 p.
- Schmutterer, H., Ermel K. et Isman, M.B., 2002.***The tiam, sentang or marrango tree: Azadirachta excelsa Jack*. In: Schmutterer H.: *The Neem Tree*, 2e Ed., Neem Foundation, Mumbai, pp. 760-769. 139
- Schoonhoven, A.V., Horber, E. et Mills, R.B., 1976.**Conditions modifying expression of resistance of maize kernels to the maize weevil. Environ Entomol. ; 5 : 163-168.
- Schoonhoven, L. M, Jermy, T. et van Loon JJA., 1998.***Insect-plant Biology*. Chapman & Hall. London.
- Seck, D., 1991.***Importance économique et développement d'une approche de lutte intégrée contre les insectes ravageurs des stocks de maïs, de mil et de niébé en milieu paysan*. In : *La post-récolte en Afrique*. Paris : Aupelf-Uref, 155-160.
- Seck, D., 1992.** Observations préliminaires sur les fluctuations saisonnières des populations d'insectes ravageurs du mil stocké en grenier traditionnel au Sénégal. *Tropiculture*, 9, 92-94.
- Seck, D., 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., 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, D., 1996.** *Alternative protection of cowpea seeds against Callosobruchus truncatus (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. et Gaspar, CH., 1992.** *Efficacité du stockage du niébé (Vigna unguiculata (L) Walp) en fûts métalliques hermétiques comme méthode alternative de contrôle de Callosobruchus maculatus F. (Coléoptères bruchidae) en Afrique Sahélienne.* *Med. Fac. Landbouww. Univ. Gent.* 57(3a) : 751-757.
- Sembène, M., 2000.** *Variabilité de l'espaceur interne transcrit (ITS1) de l'ADN ribosomique et polymorphisme des locus microsatellites chez la bruche Caryedon serratus (Olivier) : différenciation en races d'hôtes et infestation de l'arachide au Sénégal.* Thèse de doctorat d'Etat es sciences à l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 180p.
- Shomba, K. et Tshond'Olela, M., 2003.** *Méthodologie de la recherche Scientifique, Etapes, Contraintes et Perspectives*, M.E.S., Kinshasa.
- Simpson, S.J., Mordue, A.J. et Hardie, J., 1999.** *Insect-Plant Relations.* Proc. 10th International Symposium on Insect-Plant Relationships. Kluwer Academic Publishers.
- Singh, S.R. et Jackai, L.E.N., 1985.** *Insect pests of cowpea in Africa: their life cycle, economic importance, potential for control. Cowpea, research, production and utilization.* John Wiley and Sons Chichester, London pp. 217-231.
- Singh, B.B. et Singh, S.R., 1992.** *Sélection du niébé résistant aux bruches.* La recherche à l'IITA, (5) :1-5.
- Stoll, G., 1988.** *Protection naturelle des végétaux en zones tropicales*, édit. Margraf Verlag, République Fédérale d'Allemagne, Weikersheim, 275 p.
- Stoll, G., 2000.** *Natural crop protection in the tropics.* CTA/AGRECOL. 376 p.
- Stoll, G., 2002.** *Protection naturelle des végétaux en zones tropicales, vers une dynamique de l'information. (Deuxième édition revue et augmentée)*, édit. Margraf Verlag, Weikersheim, 386 p.
- Sulehrie, M.A.Q., Golob, P., Tran, B.M.D. et Farrell, G., 2003.** *The effect of attributes of vigna spp. on the bionomics of Callosobruchus maculatus.* *Entomol. Exp. Appl.*, 106, 159-168.

- Tapondjou, L.A., Bouda, H., Fontem, D.A., Zapfack, L., Lontsi, D. et Sondengam, B.L., 2000.** « *Local plants used for traditional stored product protection in the Menoua Division of the western highlands of Cameroon* ». Integrated Protection of Stored. Products IOBC Bulletin, 23: 73-7. 140
- Tapondjou, L.A., Alder C., Bouda H. et Fontem D.A., 2002.** Efficacy of powder and essential oil from *Chenopodium ambrosioides* leaves as post-harvest
- Thapar, K.L. et Chandra H., 1981.** A note on the toxicity/deterency of principle of garlic to the desert locust (*Schistocerca gregaria*) Forsk. Plant Prot. Bull., 33, 151-152.
- Thiam, B. et Ducommun, G., 1993.** Protection naturelle des végétaux en Afrique. ENDA, Tiers-monde, Dakar, 213 p.
- Traoré, S., Ouédraogo, I. et Bama, B. H., 1996.** Importance de *Prostephanus truncatus* (Horn) (Coleoptera : Bostrichidae) et des autres insectes des stocks de maïs dans les entrepôts céréaliers du Burkina Faso. In La lutte intégrée contre les insectes nuisibles au maïs dans les greniers ruraux, avec une référence particulière au grand capucin du maïs, *Prostephanus truncatus* (Horn) (Coleoptera : Bostrichidae), et l'avenir du secteur post-récolte en Afrique subsaharienne. Edité par Borgemeister C., Bell C. et Zweigert M. *Compte rendu d'une réunion*, Cotonou (Bénin), du 13 au 15 Octobre 1997.
- Tripathi, A.K.V. Prajapati, K.K. Aggarwal, S.P.S. Khanuja, B. et Kumar, R., 2001.** « *Repellency and toxicity of oil from Artemisia annua to certain stored product beetles* »: J Ecan. Entamai., 93: 43-47.
- Van Damme, P., 2001.** « *Citronnelle* », dans RAEMAKERS, H. 2001 : *Agriculture en Afrique tropicale*. DGCI, Bruxelles. pp. 1231-1232.
- Van Leer, R., 2001.** *Tabac, Nicotiana tabacum L.*, In: *Agriculture en Afrique tropicale*, Raemaekers R.H. (édi.), DGCI, Bruxelles, pp. 1019 – 1038.
- Van Pulvelde, L., 2001.** « *Tetradenia* », dans RAEMAKERS, H. 2001 : *Agriculture en Afrique tropicale*. DGCI, Bruxelles. Pp. 1230-1231.
- Van Der SP., Welbur, DA. et Painter, RH., 1969.** *Resistance of corn to laboratory infestation of the larger rice weevil Sitophilus zeamais* Motsch. J. Econ Entomol ; 352-355.
- Verschaffelt, E., 1910.** The cause determining the selection of food in some herbivorous insects. *Proc K Ned Akad Wet*, 13 : 536-542.

- Vincent, C., Philogene, B.J.R., et Regnault-Roger, C., 2002.** *Produits phytosanitaires insecticides d'origine végétale : promesses d'hier et d'aujourd'hui.* In: Philogène B.J.R.,
- Vincent, C., Hallman, G., Panneton, B. et Fleurat-Lessard, F., 2003.** «*Management of Agricultural Insects with Physical Control Methods* ». *Annu. Rev. Entomol.*, 48: 261
- Vincent, C., Goettel, M.S. et Lazarovits, G., 2007.** *Biological Control: a Global Perspective*. CABI Publishing. Cambridge, Mass, 428 p.
- Vowotor, K.A., Meikle, W.G., Ayertey, J.N. et Markham, R.H., 2005.** *Distribution of an association between the larger grain borer Prostephanus truncatus (Horn) (Coleoptera: Bostrichidae) and the maize weevil Sitophilus zeamais Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae) in maize stores. J. Stored Prod. Res.*, 41 : 498-512.
- Weidner, H. et Rack, G., 1984.** « *Table de détermination des principaux ravageurs des denrées entreposées dans les pays chauds* ». GTZ, Eschborn, 148 p.
- Weinzeirl, R., 1998.** *Botanicals insecticides, soaps and oils* In: *Recgcigl J.E. and Rechcigl NA (eds.)*, Biological, biotechnological control of insect pest, Lewis Publ., Boca Raton, FL, pp. 101-121.
- Wheathey, P. E., 1973.** *Post harvest deterioration: the maize storage problem in less developed countries of Africa*. Chem. Et Industry, 1049 p.
- Yamamoto, R., Ohsawa, K., Honda, H. et Yamamoto, I., 1975.** Attractants for rice weevil, *Sitophiluszeamais* Motschulsky, isolated from corn grain. In: *Envirnment Quality and Safety, Supp. vo. III. Pesticides Intl Congr Helsinki Finland.* July 3-9, 1974, pp. 663-667.
- Zehrer, W., 1981a.** *Mesures préventives d'hygiène dans le stockage : Problèmes post – récolte*, Document sur un séminaire OUA/GTZ, pp 32 – 66.
- Zehrer, W., 1981b.** *Méthodes traditionnelles de lutte contre les insectes dans le cadre de la Protection des stocks ; Problèmes de post-récolte : Documentation sur un Séminaire OUA/GZT*, Lome, pp. 94 – 120.
- Zettler, J.L. et Arthur F.H., 2000.** *Chemical control of stored product insects with fumigants and residual treatments.* *Crop Prot.*, 19, 577-582.
- Zlotkin, E., 1999.** The insect voltage-gated sodium channel as target of insecticides. *Annu Rev Entomol*, 44 : 429-455.

Zongo, J., Vincent, C. et Stewart, R.K., 1993. *Effects of neem seed kernel extraits on egg and larval survival of the sorghum shoot fly, Atherigona soccata Rondani (Dipt.: Muscidae).* *J Appl. Entomol.*, 115: 363-369. .

Annexe : 1

QUESTIONNAIRE D'ENQUETE EN PROTECTION BIOLOGIQUE DES DENREES ALIMENTAIRES

1. Identification de l'enquêteur

1.1. Numéro du questionnaire :/2011

1.2. Date de l'enquête :/...../...../2011

1.3. Site enquêté :

1.4. Nom de l'enquêteur :

2. Identification du vendeur et/ou du dépositaire des denrées stockées

2.1. Prénom, nom et post-
nom :

2.2. Tribu :

2.3. Village (localité ou
rue) :

2.4. Genre (Sexe) :

M : ☐

F : ☐

2.5. Age : - moins de 25 ans ☐

- 26 à 50 ans ☐

- plus de 50 ans ☐

2.6. Etat civil : Célibataire : ☐ Marié(e) : ☐ Divorcé (e) : ☐

Veuf(ve) : ☐

2.7. Niveau d'instruction : Non instruit : ☐ Primaire : ☐ Post-
primaire : ☐

Supérieur : ☐

2.8. Ancienneté dans la conservation des denrées alimentaires

Moins d'une année : 1 à 5 ans : 6 à 10 ans :

Plus de 11ans :

2.9. Contribution du stockage aux dépenses du ménage : 100%

10% : 25% : 50% : 75% :

3. Questions d'opinions

3.1. Quelles sont les types (catégories) des ravageurs responsables des dégâts des denrées ?

Coléoptères

Lépidoptères

Acariens

3.2. Quelles sont les types de denrées alimentaires qu'on trouve dans les stocks ?

Maïs

Haricot

Niébé

Manioc

3.3. Quand est-ce que les dégâts apparaissent dans les denrées ?

Du champ

Entrepôts

3.4. Quelle est l'ampleur des dégâts causés par les ravageurs ?

Très importants

Importants

Moins importants

3.5. *Quels sont les biopesticides utilisés par les paysans dans la lutte biologique ?*

Les biocides ☐

Les parasitoïdes ☐

Les pathogènes ☐

Les prédateurs ☐

3.6. *Les populations recourent-elles à la lutte biologique contre les ravageurs ?*

Oui ☐

Non ☐

3.7. *Connaissance des biopesticides*

Oui ☐

Non ☐

3.8. *Connaissance des phytochimiques*

Oui ☐

Non ☐

3.9. *Connaissance des méfaits des pesticides chimiques*

Oui ☐

Non ☐

3.10. *Utilisation des phytochimiques en denrées stockées comme moyen de lutte*

Oui ☐

Non ☐

*3.11. Connaissance des insectes ravageurs des denrées stockées*Oui ☐Non ☐*3.12. Présence des insectes ravageurs dans les sites enquêtés*Oui ☐Non ☐*3.13. Limites aux difficultés rencontrées dans l'exercice de votre métier*a. b. c.

Annexe 2.a Figures des enquêtes ethnobotaniques des plantes à action insecticide

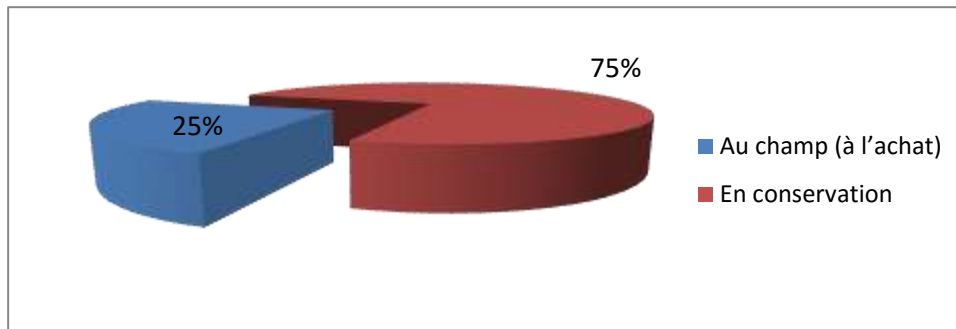


Fig. 2. a.1 Début d'attaque des grains de maïs par les bioagresseurs

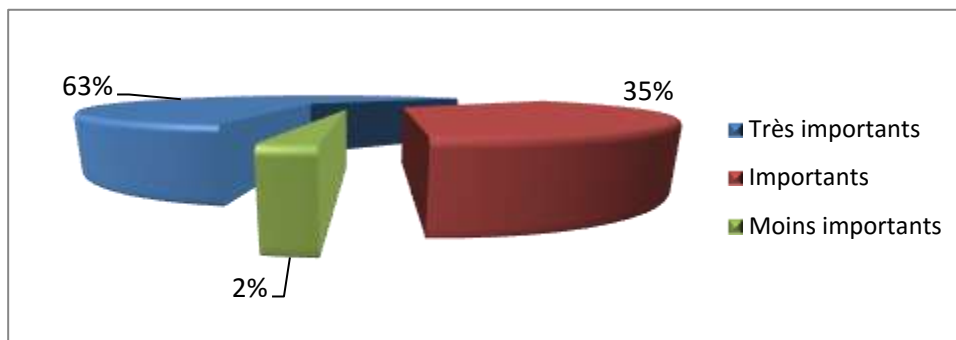


Fig. 2. a.2 Ampleur des dégâts causés par les insectes ravageurs

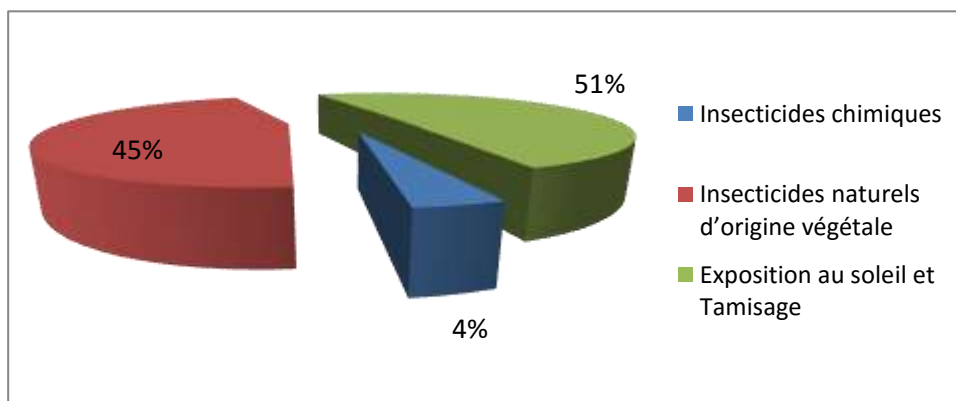


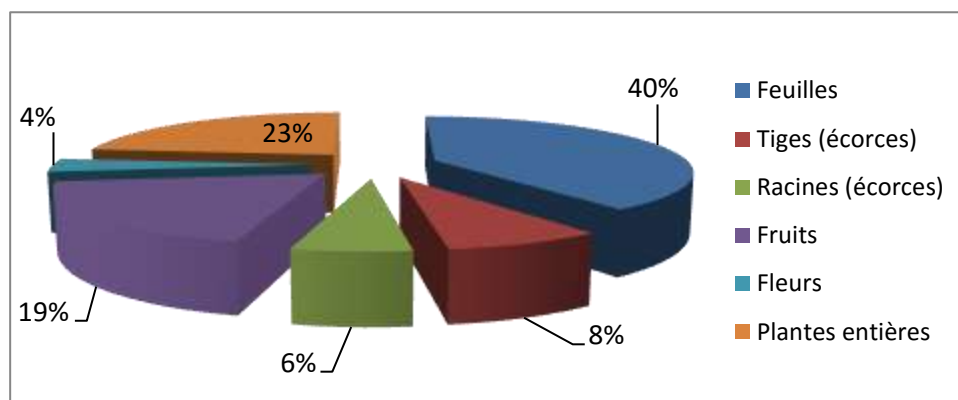
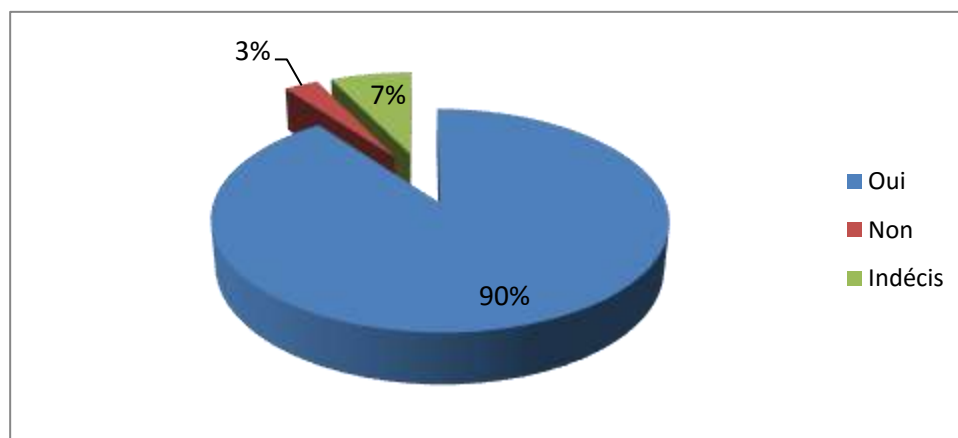
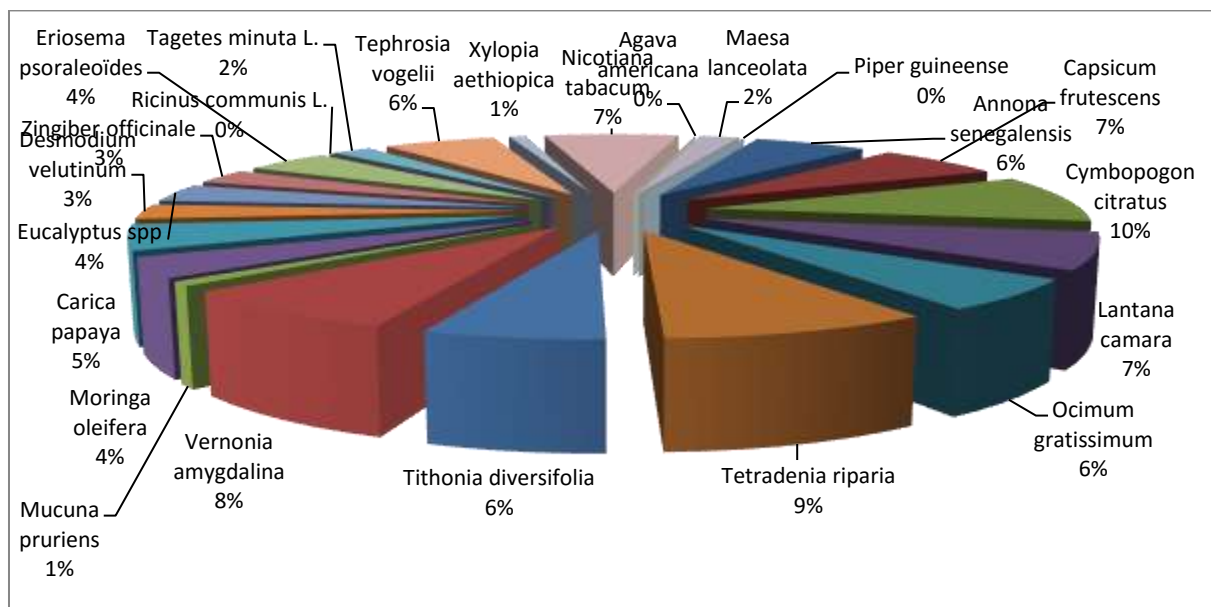
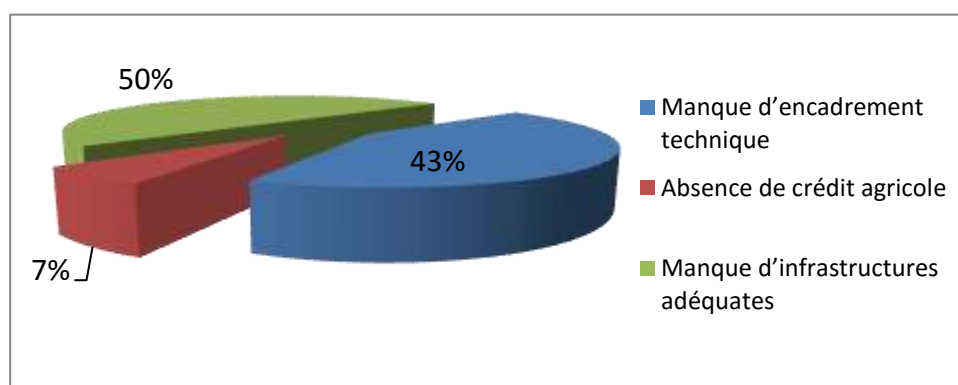
Fig. 2. a.3 Moyens de luttés utilisées pour la protection des grains de Maïs**Fig. 2. a.4 Organes de la plante appliqués en gestion des denrées alimentaires**

Fig. 2. a.5 Autres insectes ravageurs de stocks**Fig. 2. a.6 Utilisation des plantes présumées insecticides en protection**

Annexe 2.b Tableaux complémentaires de calcul du Chi-carré sur les enquêtes

A. Début d'attaques de maïs égrenés pendant la conservation

Tableau A.1 Début d'attaques de maïs en calcul de fréquence

Fréquence	En plein champ	En conservation	Total
Fréquence observée (f_o)	84	252	336
Fréquence théorique (f_e)	168	168	336

L'interprétation de ce tableau avec un degré de liberté de 1 ($dl=1$) permet de rejeter l'hypothèse nulle au seuil de signification 0,001. Le Chi-carré calculé (84) est supérieur au Chi-carré théorique (10,827).

Tableau A.2 Début d'attaques des grains de maïs par province d'origine

Avis Province	Au champ	En conservation	Total
Kinshasa	50	132	182
Kongo Central	34	120	154
Total	84	252	336

Avec un degré liberté de 1 ($dl=1$), le Chi-carré calculé (1,294) est inférieur au Chi-carré théorique de la table (3,841) au seuil de probabilité 0,05. D'où on accepte l'hypothèse nulle : les avis des enquêtés sur le début d'attaque des grains de maïs ne varient pas significativement selon la province d'origine des enquêtés.

Tableau A.3 Début d'attaques de maïs par rapport au genre (sexe)

Avis Sexe (genre)	Au champ	En conservation	Total
Homme	23	134	157
Femme	61	118	179
Total	84	252	336

La distribution des avis des enquêtés diffèrent significativement au seuil de ($p=0,01$ avec $dl=1$). La majorité des enquêtés disent que les attaques de *Sitophiluszeamais* se font surtout pendant la conservation

Les avis des personnes interrogées sur la période d'attaques des maïs sont indépendants de la province. Par contre, ces avis varient selon le genre (sexe)

B. Evaluation des dégâts occasionnés par les insectes ravageurs (*Sitophiluszeamais*)

Tableau B.1 Ampleur des dégâts avec le calcul de fréquence du Chi-carré

Fréquence	Très important	Important	Moins important	Total
Fréquence observée (f_0)	212	117	7	336
Fréquence théorique (f_e)	112	112	112	336

L'analyse statistique avec un degré de liberté de 2 ($dl=2$) donne une conclusion en Chi-carré calculé (187,947) supérieur au Chi-carré théorique (13,815) au seuil de signification 0,001. La différence est hautement significative alors pour la majorité des enquêtés, l'ampleur des dégâts est très importante.

Tableau B.2 Ampleur de dégâts causés par les charançons par province

Avis Province	Très important	Important	Moins important	Total
Kinshasa	118	62	2	182
Kongo Central	94	55	5	154
Total	212	117	7	336

La décision statistique dit qu'on peut tirer une conclusion avec le degré de liberté de 2 (dl=2), le Chi-carré calculé (2,103) est inférieur au Chi-carré tabulaire (5,991) au seuil de probabilité 0,05. Dans ces conditions, on accepte l'hypothèse nulle de l'indépendance des avis des personnes enquêtées sur l'ampleur des dégâts par rapport aux provinces d'origine.

Tableau B.3 Ampleur des dégâts des charançons de maïs par rapport au genre

Avis Sexe (genre)	Très important	Important	Moins important	Total
Homme	74	80	3	157
Femme	138	37	4	197
Total	212	117	7	336

Avec le degré de liberté de 2 (dl=2), le Chi-carré calculé (33,970) est supérieur au Chi-carré tabulaire (13,815) au seuil de signification 0,001, qui nous autorise le rejet de l'hypothèse nulle. Ces avis diffèrent significativement selon le genre des enquêtés. Toutefois, ces avis se maintiennent quelle que soit la province d'origine. Les avis des dégâts sont indépendants de la province d'origine au degré de liberté 1 (dl=1). Mais les réponses des enquêtés diffèrent selon le genre au seuil de probabilité de 0,01

C. Moyens de lutte contre l'insecte ravageur des grains de maïs en conservation

Tableau C.1 Fréquence des moyens de protection en conservation des grains de maïs

Fréquence	Insecticides chimiques	Insecticides d'origine végétale	Exposition au soleil et tamisage	Total
Fréquence observée (fo)	13	122	201	336
Fréquence théorique (fe)	112	112	112	336

La distribution de ces données selon l'analyse statistique diffère très largement d'une distribution uniforme. Le Chi-carré calculé (155,125) est supérieur au Chi-carré tabulaire (13,815) au seuil de probabilité de 0.001. La différence est hautement significative.

Tableau C.2 Moyens de gestion de *Sitophilus zeamais* en fonction de la province

Avis Province	Insecticide chimique	Insecticides végétaux	Exposition au soleil	total
Kinshasa	10	92	80	182
Kongo Central	3	30	121	154
Total	13	122	201	336

Il ressort de ce tableau que les insecticides d'origine végétale et les insecticides chimiques sont privilégiés par les agriculteurs de Kinshasa alors que ceux du Kongo Central préfèrent l'exposition au soleil, enfumage et tamisage. Avec 2 degrés de liberté, le Chi-carré calculé (40,623) indique une différence hautement significative au seuil de 0,001

Tableau C.3 Moyens de gestion de l'insecte ravageur par rapport au genre

Avis Sexe (genre)	Insecticide chimique	Insecticides végétaux	Exposition au soleil	Total
Homme	8	52	119	179
Femme	5	70	82	157
Total	13	112	201	336

Il est admis statistiquement que la majorité des personnes enquêtées pratiquent plus l'exposition au soleil, l'enfumage et le tamisage des grains de maïs. Ensuite, vient l'utilisation de bio-insecticides d'origine végétale comme moyen de protection et enfin l'application des moyens de lutte chimiques. Les avis des enquêtés sur les moyens de contrôle varient selon leur province d'origine.

D. Organes utilisés pour la protection des maïs

Les différentes parties de la plante utilisées dans la conservation des grains de maïs contre *Sitophilus zeamais* Motschulsky.

Tableau D.1 Les parties d'organes végétaux utilisées dans la lutte biologique

Parties d'organes	Feuilles	Tiges	Racines	Fruits	Fleurs	Plante entière	Total
Fréq observée (fo)	134	27	20	64	13	78	336
Fréq théorique (fe)	56	56	56	56	56	56	336

Le degré de liberté étant de 5 (dl=5), il se dégage la décision et la conclusion qui nous permettent de dire que le Chi-carré calculé (189,608) est supérieur au Chi-carré tabulaire

(20,515) au seuil de 0,001. Statistiquement, la différence est hautement significative entre la distribution des fréquences observées et la distribution des fréquences théoriques pour l'utilisation des parties d'organes végétaux. On affirme l'usage majoritairement prononcé des feuilles suivies des plantes entières et des fruits etc.

E. Fréquence des difficultés rencontrées pendant le stockage des maïs

E.1 Fréquence des difficultés rencontrées lors de la conservation

Fréquence	Manque d'encadrement	Absence de crédit	Manque d'infrastructures	Total
Fréquence observée (fo)	145	23	168	336
Fréquence théorique (fe)	112	112	112	336

Le Chi-carré appliqué à cette question s'est relevé hautement significatif au seuil de probabilité 0,001 avec le degré de liberté 2 (dl=2). La distribution des réponses des enquêtés à cette question diffère significativement d'une distribution uniforme. En d'autres termes, les réponses données n'ont pas le même poids théorique

Tableau E.2 Difficultés rencontrées en conservation en fonction de la province

Avis Province	Manque d'encadrement	Absence de crédit	Manque d'infrastructures	Total
Kinshasa	59	15	108	182
Kongo Central	86	8	60	154
Total	145	23	168	336

Le tableau ci-dessus indique qu'au degré de liberté de 2 (dl=2), le Chi-carré calculé (18,669) est supérieur au Chi-carré tabulaire (13,815) au seuil de signification 0,001. Dans cette condition, il est tenu de rejeter l'hypothèse nulle. Il existe statistiquement une différence

significative aux difficultés observées aux provinces. A Kinshasa, on signale le manque d'infrastructures alors qu'au Kongo Central, c'est le manque d'encadrement technique.

Tableau E.3 Difficultés à la conservation des maïs par genre

Avis Sexe (genre)	Manque d'encadrement	Absence de crédit	Manque d'infrastructures	Total
Homme	85	8	64	157
Femme	60	15	104	179
Total	145	23	168	336

Avec le degré de liberté de 2, il ressort que Chi-carré calculé (14,586) est supérieur (13,815) au seuil de signification de 0,001. D'où on rejette l'hypothèse nulle de l'indépendance des avis émis par les enquêtés comparativement au genre. Il apparaît que les avis sur les types de difficultés rencontrées diffèrent également selon le genre. Il faut admettre que les avis sur cette question ont tendance à varier de manière significative en fonction de la province d'origine des enquêtés et de leur genre.

Annexe 3.a Analyse de la variance du bloc aléatoire complet

1. ESPECE VEGETALE *Tetradenia riparia* L.

Tableau présentant le nombre d'insectes morts

Tableau 1.a. Nombre d'insectes morts après 95 jours d'entreposage

Randomized Complete Block AOV Table for Nombre

Source	DF	SS	MS	F	P
Bloc	3	8,9500	2,98333		
Traitement	4	14,3000	3,57500	2,01	0,1564
Error	12	21,3000	1,77500		
Total	19	44,5500			
Grand Mean	6,1500				
CV (%)	21,66				
lsd(5%,1%)	2,05	2,82			

Tableau présentant le nombre de grains de maïs ayant des trous

Tableau 1.b. Nombre de grains ayant des trous après 95 jours d'entreposage

Randomized Complete Block AOV Table for Nombre

Source	DF	SS	MS	F	P
Bloc	3	158,00	52,67		
Traitement	4	5194,30	1298,58	57,18	0,0000***
Error	12	272,50	22,71		
Total	19	5624,80			
Grand Mean	62,400				
CV (%)	7,64				

lsd(5%,1%) 7,31 : 10,3

2. ESPECE VEGETALE *Vernonia amygdalina* Del.

Tableau présentant le nombre d'insectes morts

Tableau 2.a. Nombre d'insectes morts après 95 jours d'entreposage

Randomized Complete Block AOV Table for Nombre

Source	DF	SS	MS	F	P
Bloc	3	5,000	1,6667		
Traitemen	4	74,700	18,6750	7,35	0,0031**
Error	12	30,500	2,5417		
Total	19	110,200			
Grand Mean	6,7000				
CV (%)	23,79				
lsd(5%) (1%)	2,46	3,45			

Tableau présentant le nombre de grains de maïs ayant de trous

Tableau 2.b. Nombre de grains ayant de trous après 95 jours d'entreposage

Randomized Complete Block AOV Table for Nombre

Source	DF	SS	MS	F	P
Bloc	3	29,35	9,783		
Traitemen	4	2005,80	501,450	17,32	0,0001***
Error	12	347,40	28,950		
Total	19	2382,55			
Grand Mean	67,350				
CV (%)	7,99				
lsd(5%) (1%)	8,30	11,64			

3. ESPECE VEGETALE *Cymbopogon citratus* (DC) Stapf.

Tableau présentant le nombre d'insectes morts

Tableau 3.a. Nombre d'insectes morts après 95 jours d'entreposage

Randomized Complete Block AOV Table for Nombre

Source	DF	SS	MS	F	P
Bloc	3	0,5500	0,18333		
Traitemen	4	26,2000	6,55000	1,45	0,2774
Error	12	54,2000	4,51667		
Total	19	80,9500			
Grand Mean	8,5500				
CV (%)	24,86				
lsd(5%) (1%)	3,27 : 4,58				

Tableau présentant le nombre de grains de maïs ayant des trous

Tableau 3.b. Nombre de grains ayant des trous après 95 jours d'entreposage

Randomized Complete Block AOV Table for Nombre

Source	DF	SS	MS	F	P
Bloc	3	603,4	201,13		
Traitemen	4	9462,7	2365,68	57,69	0,0000***
Error	12	492,1	41,01		
Total	19	10558,2			
Grand Mean	70,700				
CV (%)	9,06				
lsd(5%) (1%)	9,87 : 13,84				

4. ESPECE VEGETALE *Lantana camara* L.

Tableau présentant le nombre d'insectes morts

Tableau 4.a. Nombre d'insectes morts après 95 jours d'entreposage

Randomized Complete Block AOV Table for Nombre

Source	DF	SS	MS	F	P
Bloc	3	7,000	2,3333		
Traitement	4	192,500	48,1250	33,00	0,0000***
Error	12	17,500	1,4583		
Total	19	217,000			
Grand Mean	7,5000				
CV (%)	16,10				
lsd(5%) (1%)	1,87 :2,60				

Tableau présentant le nombre de grains de maïs ayant des trous

Tableau 4.b. Nombre de grains ayant des trous après 95 jours d'entreposage

Randomized Complete Block AOV Table for Nombre

Source	DF	SS	MS	F	P
Bloc	3	40,95	13,650		
Traitement	4	3042,30	760,575	28,95	0,0000***
Error	12	315,30	26,275		
Total	19	3398,55			
Grand Mean	61,850				
CV (%)	8,29				
lsd(5%) (1%)	7,90 :11,1				

5. ESPECE VEGETALE *Annona senegalensis* Pers.

Tableau présentant le nombre d'insectes morts

Tableau 5.a. Nombre d'insectes morts après 95 jours d'entreposage

Randomized Complete Block AOV Table for Nombre

Source	DF	SS	MS	F	P
BLOC	3	2,950	0,9833		
Traitemen	4	240,200	60,0500	12,47	0,0003***
Error	12	57,800	4,8167		
Total	19	300,950			
Grand Mean	5,9500				
CV (%)	36,89				
lsd(5%) (1%)	3,38 :4,74				

Tableau présentant le nombre de grains de maïs ayant des trous

Tableau 5.b. Nombre de grains ayant des trous après 95 jours d'entreposage

Randomized Complete Block AOV Table for Nombre

Source	DF	SS	MS	F	P
BLOC	3	19,60	6,533		
Traitemen	4	2324,70	581,175	12,30	0,0003***
Error	12	566,90	47,242		
Total	19	2911,20			
Grand Mean	66,200				
CV (%)	10,38				
lsd(5%) (1%)	10,39 :14,57				

6. ESPECE VEGETALE *Ocinum gratissimum* L.

Tableau présentant le nombre d'insectes morts

Tableau 6.a.Nombre d'insectes morts après 95 jours d'entreposage

Randomized Complete Block AOV Table for Nombre

Source	DF	SS	MS	F	P
Bloc	3	8,9500	2,98333		
Traitement	4	13,7000	3,42500	2,25	0,1248
Error	12	18,3000	1,52500		
Total	19	40,9500			
Grand Mean	6,0500				
CV (%)	20,41				
lsd(5%) (1%)	3,49 : 5,95				

Tableau présentant le nombre de grains de maïs ayant des trous

Tableau 6.b.Nombre de grains ayant des trous après 95 jours d'entreposage

Randomized Complete Block AOV Table for Nombre

Source	DF	SS	MS	F	P
Bloc	3	184,600	61,533		
Traitement	4	479,200	119,800	4,82	0,0150*
Error	12	298,400	24,867		
Total	19	962,200			
Grand Mean	79,700				
CV (%)	6,26				
lsd(5%) (1%)	10,39 : 14,57				

7. ESPECE VEGETALE *Thitonia diversifolia* (Hemsl.) A.Gray

Tableau présentant le nombre d'insectes morts

Tableau 7.a. Nombre d'insectes morts après 95 jours d'entreposage

Randomized Complete Block AOV Table for Nombre

Source	DF	SS	MS	F	P
Bloc	3	2,5500	0,85000		
Traitement	4	9,5000	2,37500	1,11	0,3968
Error	12	25,7000	2,14167		
Total	19	37,7500			
Grand Mean	5,7500				
CV(%)	25,45				
lsd(5%) (1%)	--	--			

Tableau présentant le nombre de grains de maïs ayant des trous

Tableau 7.b. Nombre de grains ayant des trous après 95 jours d'entreposage

Randomized Complete Block AOV Table for Nombre

Source	DF	SS	MS	F	P
Bloc	3	5,800	1,9333		
Traitement	4	42,800	10,7000	0,20	0,9313
Error	12	629,200	52,4333		
Total	19	677,800			
Grand Mean	89,900				
CV(%)	8,05				
lsd(5%) (1%)	--	--			

8. ESPECE VEGETALE *Capsicum frutescens* L.

Tableau présentant le nombre d'insectes morts

Tableau 8.a. Nombre d'insectes morts après 95 jours d'entreposage

Randomized Complete Block AOV Table for Nombre

Source	DF	SS	MS	F	P
BLOC	3	2,9500	0,98333		
Traitemen	4	12,2000	3,05000	1,68	0,2191
Error	12	21,8000	1,81667		
Total	19	36,9500			
Grand Mean	4,9500				
CV(%)	27,23				
lsd (5%) (1%)	--	--			

Tableau présentant le nombre de grains de maïs ayant des trous

Tableau 8.b. Nombre de grains ayant des trous après 95 jours d'entreposage

Randomized Complete Block AOV Table for Nombre

Source	DF	SS	MS	F	P
BLOC	3	581,40	193,800		
Traitemen	4	50,20	12,550	0,12	0,9707
Error	12	1206,60	100,550		
Total	19	1838,20			
Grand Mean	120,30				
CV(%)	8,34				
lsd(5%) (1%)	--	--			

Annexe 3.2 Analyse de la variance d'une expérience en split plot

1. Nombre de charançons morts pendant la conservation

Analysis of Variance Table for Sqrt ChsMr (Nombre de charançons morts)

Source	DF	SS	MS	F	P
BLOC	2	22.63	11.317		
VARI	3	26.18	8.728	0.08	0.9682
Error BLOC*VARI	6	649.77	108.294		
TRAITEMEN	4	472.83	118.208	5.46	0.0018
VARI*TRAITEMEN	12	302.23	25.186	1.16	0.3489
Error BLOC*VARI*TRAITEMEN	32	692.93	21.654		
Total	59	2166.58			

Grand Mean 9.9167

CV (%) (BLOC*VARI) 104.94

CV (%) (BLOC*VARI*TRAITEMEN) 46.93

2. Nombre de grains de maïs sains après la conservation

Analysis of Variance Table for SqrtGrsSs (Nombre de grains de maïs sains)

Source	DF	SS	MS	F	P
BLOC	2	3576	1787.9		
VARI	3	70596	23531.9	11.15	0.0072
Error BLOC*VARI	6	12667	2111.1		
TRAITEMEN	4	55536	13884.0	68.16	0.0000
VARI*TRAITEMEN	12	10466	872.2	4.28	0.0005
Error BLOC*VARI*TRAITEMEN	32	6518	203.7		
Total	59	159358			

Grand Mean 98.167

CV (%) (BLOC*VARI) 46.80

CV (%) (BLOC*VARI*TRAITEMEN) 14.54

3. Nombre de grains de maïs troués pendant la conservation

Analysis of Variance Table for SqrtGrsTr (Nombre de grains de maïs troués)

Source	DF	SS	MS	F	P
BLOC	2	2792	1396.1		
VARI	3	35672	11890.7	6.08	0.0300
Error BLOC*VARI	6	11744	1957.3		
TRAITEMEN	4	60484	15121.0	55.86	0.0000
VARI*TRAITEMEN	12	10511	875.9	3.24	0.0039
Error BLOC*VARI*TRAITEMEN	32	8662	270.7		
Total	59	129865			

Grand Mean 55.917

CV (%) (BLOC*VARI) 79.12

CV (%) (BLOC*VARI*TRAITEMEN) 29.42

4. Poids des grains de maïs sains après la conservation

Analysis of Variance Table for SqrtPdsGrsn (Poids des grains de maïs sains)

Source	DF	SS	MS	F	P
BLOC	2	319.2	159.62		
VARI	3	2898.8	966.28	1.68	0.2698
Error BLOC*VARI	6	3456.5	576.08		
TRAITEMEN	4	6472.1	1618.02	18.03	0.0000
VARI*TRAITEMEN	12	2205.4	183.78	2.05	0.0524
Error BLOC*VARI*TRAITEMEN	32	2870.9	89.72		
Total	59	18223.0			

Grand Mean 33.683

CV (%) (BLOC*VARI) 71.26

CV (%) (BLOC*VARI*TRAITEMEN) 28.12

5. Poids des grains de maïs troués après la conservation

Analysis of Variance Table for SqrtPdsGrtr (Poids des grains de maïs troués)

Source	DF	SS	MS	F	P
BLOC	2	497.2	248.62		
VARI	3	3858.6	1286.19	7.05	0.0216
Error BLOC*VARI	6	1095.2	182.53		
TRAITEMEN	4	8079.1	2019.77	21.99	0.0000
VARI*TRAITEMEN	12	1737.3	144.78	1.58	0.1489
Error BLOC*VARI*TRAITEMEN	32	2939.6	91.86		
Total	59	18207.0			

Grand Mean 18.983

CV (%) (BLOC*VARI) 71.17

CV (%) (BLOC*VARI*TRAITEMEN) 50.49