

UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR
ECOLE DOCTORALE: SCIENCES DE LA VIE, DE LA SANTE, ET DE
L'ENVIRONNEMENT
FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES

ANNEE : 2016

N° D'ORDRE : 249



THESE DE DOCTORAT

Spécialité : Entomologie
Présentée par :

Papa Seyni CISSOKHO

**Lutte contre les insectes ravageurs du maïs et du
niébé stockés par l'utilisation de substances inertes
et végétales**

Soutenue le 22 Décembre 2016 devant le jury composé de :

| | | |
|-----------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| Président : | M. Ousmane FAYE | Professeur titulaire, UCAD |
| Rapporteur : | M. Saliou NDIAYE | Maître de Conférences, ENSA/UT |
| Rapporteur : | M. Ngor FAYE | Maître de Conférences, UCAD |
| Rapporteur : | M. Abdoulaye Baila NDIAYE | Maître de Recherches, IFAN / UCAD |
| Examineur : | M. Abdoul Aziz NIANG | Chargé de Recherches, IFAN / UCAD |
| Examineur : | M. Ibrahima SARR | Chargé de Recherches, ISRA |
| Directeur : | M. Karamoko DIARRA | Professeur titulaire, UCAD |
| Co-directeur : | M. Momar Talla GUEYE | Maître de Recherches, ITA |

DEDICACES

Je rends grâce au Tout puissant de m'avoir permis de mener à terme ce travail.

Je dédie ce travail:

À la mémoire de mes grands parents depuis le Cameroun. Durant les meilleures comme les pires moments de ma vie scolaire, vous avez toujours été à mes côtés pour m'encourager. Vous m'avez inculqué un esprit rigoureux, appliqué, minutieux, voire perfectionniste, grâce auquel j'ai acquis un goût prononcé pour le travail bien fait, ainsi qu'une volonté de compréhension pointue des choses.

À ma mère Rose Agnong MACHIA, ma grande sœur Mme Adissa MACHIA DRAME et son époux Abdoulaye DRAME pour leur soutien sans faille pour la réussite de mes études.

À mon père Souleyez, grâce à tes conseils, j'ai appris à persévérer dans la vie.

À mes frères, sœurs, nièces et neveux.

À ma conjointe Germaine et ma fille Rose Aicha.

À toute ma grande famille maternelle au Cameroun.

REMERCIEMENTS

Je fais partie des personnes qui croient mordicus qu'il n'y a de force ni de puissance que Dieu. Cela étant, je commence par Le remercier de m'avoir donné la santé et la force de mener à bien mes travaux de recherches.

Ce travail s'inscrit dans le cadre du projet « Promotion de technologie post-récolte de conservation et de transformation du maïs et du niébé pour réduire les pertes et améliorer la qualité marchande en Afrique de l'Ouest et du Centre » financé par le **DFID et le CORAF**. Son aboutissement est le fruit de la contribution de nombreuses personnes ressources et institutions. Nous sommes conscients que d'autres mériteraient d'être citées dans cette page ; Qu'elles veuillent bien pardonner ces éventuelles omissions. Au terme de ce travail, il m'est agréable de remercier :

Le DFID et le CORAF pour le financement de ce travail dans le cadre du projet cité un peu plus haut **le Programme de Productivité Agricole en Afrique de l'Ouest (PPAAO/WAAPP)** pour m'avoir offert une allocation durant mes travaux de recherches.

Dr Momar Talla GUEYE, Maître de Recherches à l'ITA et co-directeur de cette thèse. Son honnêteté, sa rigueur, sa constante disponibilité et son efficacité dans le travail font de lui un bel exemple. Vous m'avez guidé pas à pas et toujours apporté des critiques constructives, facilité mon intégration dans l'institut, initié à la recherche dans la bonne humeur, la rigueur et la déontologie. Je voudrais vous exprimer toute mon estime et ma profonde gratitude et à travers votre personne remercier tout le personnel de l'ITA.

Pr Karamoko DIARRA, directeur de cette thèse. Je salue votre souplesse et votre esprit d'ouverture. Vos grandes qualités professionnelles mais aussi humaines m'ont aidé à aller au bout de ce travail dans la confiance et la reconnaissance.

Pr Ousmane FAYE, président de jury de cette thèse de doctorat. Merci pour le soutien chaleureux dont vous avez toujours eu à mon égard.

Pr Saliou NDIAYE. Vous avez toujours été pour moi un guide et un conseiller. Je voudrais vous témoigner toute ma reconnaissance et surtout vous remercier d'avoir accepté de faire partie du jury.

Pr Ngor FAYE, en dépit de vos lourdes tâches, vous avez accepté de faire partie du jury, faisant preuve par là d'une sollicitude et d'une compréhension qui m'ont beaucoup touché.

Dr Abdoulaye Baila NDIAYE, je vous suis reconnaissant d'avoir porté votre regard d'expert sur mon document malgré vos multiples charges; vos remarques, on ne peut plus pertinentes nous ont permis de l'améliorer.

Dr Abdoul Aziz NIANG, malgré vos multiples charges, vous avez accepté d'examiner mon travail. Je vous remercie sincèrement.

Dr Ibrahima SARR, chercheur à l'ISRA. Je vous remercie sincèrement de m'avoir fait l'honneur d'examiner ce travail. J'approuve un profond respect pour votre travail d'expert ainsi que vos qualités humaines.

Pr El Hadj SOW du département de Géologie de l'UCAD, membre de notre équipe de recherche. Vous nous avez toujours assistés sur le terrain malgré vos multiples tâches.

Pr Georges LOGNAY et toute son équipe pour leur contribution à la réalisation de ce travail. Merci Professeur pour vos conseils.

Dr Absa Guèye NDIAYE, grâce à votre soutien et vos conseils, j'ai pu travailler avec quiétude. Merci de m'avoir guidé à la recherche dans ce domaine.

Pr. Abdoulaye SAMB, Directeur de l'école doctorale des Sciences de la Vie, de la Santé et de l'Environnement et tous les responsables de la formation doctorale Entomologie.

Les enseignants de l'ENSA pour la formation en sciences agronomiques et mes camarades durant mon DEA.

Dr Ababacar NDOYE et **Amadou KANE**, respectivement ancien Directeur Général et ancien Directeur de la Recherche et du Développement de l'ITA.

Dr Mamadou Amadou SECK, Directeur Général de l'ITA. À travers votre personne, je remercie tout le personnel de l'ITA.

Dr Younoussa DIALLO, chercheur à l'ITA. Je vous ai côtoyé depuis mon stage de DEA et tout au long de ce travail, votre sincérité et votre esprit de chercheur m'ont beaucoup marqué.

M. Mouhamadou Moustapha NDIAYE et **Mme Fatou WELLE BA**, pour leur contribution sans faille à la réalisation de ce travail.

Toute l'agréable équipe de recherche du Laboratoire des Analyses phytosanitaires de l'ITA en particulier Serigne Mbacké Diop, El Hadji Barka Ndiaye, Oumar Guèye, Aminata KÂ, Abdoulaye Thiam et Serigne Nah Thiam pour leur dynamisme et leur soutien sans faille.

ACRONYMES

ANOVA: Analyse de la variance

ANPM: Agence Nationale du Patrimoine Minier

ANSD: Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie

CIC: Conseil International des Céréales

CIRAD: Centre International de Recherche Agronomique pour le Développement

CORAF: Conseil Ouest et Centre Africain pour la Recherche et le développement agricole

CSE: Centre de Suivi Ecologique

CSP: Comité Sahélien des Pesticides

CTA: Centre Technique de coopération Agricole et Rurale ACP-UE

DFID: Department For International Development

FAO: Food and Agriculture Organization

IFAN: Institut Fondamental d'Afrique Noire Cheikh Anta Diop

IITA: Institut International de l'Agriculture Tropicale

ISRA: Institut Sénégalais de Recherches Agricoles

ITA: Institut de Technologie Alimentaire

MEPN: Ministère de l'Environnement et de la Protection de la Nature

ONU : Organisation des Nations-Unies

ORSTOM : Office de la Recherche Scientifique et Technique d'Outre-mer

PAFA : Projet d'Appui aux Filières Agricoles

PICS: Projet International de Coopération Scientifique

RGPHAE: Recensement Général de la Population et de l'Habitat, de l'Agriculture et de l'Elevage

UCAD : Université Cheikh Anta Diop de Dakar

LISTE DES FIGURES

| | |
|---|----|
| Figure 1: Principaux producteurs mondiaux du maïs en 2014/2015 | 5 |
| Figure 2: Grains de maïs attaqués par <i>Prostephanus truncatus</i> | 9 |
| Figure 3: Graines de niébé attaquées par <i>Callosobruchus maculatus</i> | 9 |
| Figure 4: Adulte de <i>Callosobruchus maculatus</i> | 11 |
| Figure 5: Cycle de développement de <i>Callosobruchus maculatus</i> | 11 |
| Figure 6: Adulte de <i>Sitophilus zeamais</i> | 13 |
| Figure 7: Adulte de <i>Prostephanus truncatus</i> | 15 |
| Figure 8: Adulte de <i>Tribolium castaneum</i> | 16 |
| Figure 9: Situation géographique du Sénégal..... | 21 |
| Figure 10: Zones agro-écologiques du Sénégal..... | 22 |
| Figure 11: Densité de la population du Sénégal en 2013 | 24 |
| Figure 12: Localisation du Lac Tanma..... | 27 |
| Figure 13: Localisation du Lac Rose..... | 28 |
| Figure 14: Localisation géographique d'Alou Kagne | 29 |
| Figure 15: Situation géographique de Lompoul | 30 |
| Figure 16: Sites d'échantillonnage des substances inertes au niveau du Lac Tanma | 31 |
| Figure 17 : Sites d'échantillonnage des différentes substances inertes | 32 |
| Figure 18: Echantillonnage des substances inertes de Matam..... | 33 |
| Figure 19: Echantillons de substances inertes dans les sachets en plastique polyéthylène | 38 |
| Figure 20: Effets des différentes substances inertes sur la mortalité de <i>S. zeamais</i> | 44 |

| | |
|--|-----------|
| Figure 21: Effets des différentes substances inertes sur la mortalité de <i>C. maculatus</i> | 44 |
| Figure 22: Analyse de la fraction totale et argileuse de la poudre decarbonatée de la substance inerte Diobé 1 | 48 |
| Figure 23: Analyse de la fraction totale et argileuse de la poudre decarbonatée de la substance inerte Diobé 2 | 49 |
| Figure 24: Analyse de la fraction argileuse de la poudre decarbonatée de la substance inerte Lac Tanma1 | 50 |
| Figure 25: Analyse de la fraction argileuse de la poudre decarbonatée de la substance inerte Lac Tanma 2 | 51 |
| Figure 26: Analyse de la fraction argileuse de la poudre decarbonatée de la substance inerte Alou Kagne | 52 |
| Figure 27: Substances inertes moulues et tamisées aux granulométries 1 mm (a) et 0,3 mm (b) | 58 |
| Figure 28: Influence de la granulométrie des substances inertes sur la mortalité des insectes | 64 |
| Figure 29: Efficacité des substances inertes sur la mortalité des insectes | 65 |
| Figure 30: Influence de la granulométrie des substances inertes sur le nombre d'émergences des insectes. | 68 |
| Figure 31: Efficacité des substances inertes sur le nombre d'émergences des différentes espèces d'insectes | 69 |
| Figure 32: Influence de la granulométrie de substances inertes sur les dégâts causés par <i>C. maculatus</i> , <i>S. zeamais</i> , <i>P. truncatus</i> et <i>T. castaneum</i> | 75 |
| Figure 33: Efficacité des substances inertes d'Alou Kagne, Diobé 1, Diobé 2, Lac Tanma 1 et Lac Tanma 2 sur les dégâts causés par les insectes | 76 |
| Figure 34: Influence de la granulométrie des différentes substances inertes sur les pertes pondérales causées par chaque insecte | 82 |
| Figure 35: Effet des substances inertes sur les pertes pondérales causées par les différentes espèces d'insectes | 84 |
| Figure 36: Broyat (0,5 et 0,2 mm) et poudre atomisée d'épis de maïs | 94 |

LISTE DES TABLEAUX

| | |
|--|-----------|
| Tableau 1: Lieu d'échantillonnage de substances inertes du Lac Tanma | 32 |
| Tableau 2: Nombre d'échantillons de substances inertes prélevées des sites d'étude | 34 |
| Tableau 3: Analyses sédimentologiques des échantillons de substances inertes de Lac Tanma, Alou Kagne, Matam, Lompoul et Lac Rose..... | 35 |
| Tableau 4: Caractérisation des substances inertes échantillonnées | 35 |
| Tableau 5: Codes des différents échantillons de substances inertes..... | 39 |
| Tableau 6: Cinq substances inertes les plus efficaces après le test d'efficacité sur 14 jours | 45 |
| Tableau 7 : Composition chimique des différentes substances inertes de Diobé, Lac Tanma et Alou kagne par fluorescence X | 46 |
| Tableau 8: Analyses par diffraction aux rayons X des différentes substances inertes | 53 |
| Tableau 9: Localisation et coordonnées géographiques des lieux de prélèvement des substances inertes | 58 |
| Tableau 10: Dispositif expérimental | 60 |
| Tableau 11: Effet de la dose des substances inertes d'Alou Kagne, Diobé 1 et 2, Lac Tanma 1 et 2 sur la mortalité de <i>C. maculatus</i> , <i>S. zeamais</i> , <i>P. truncatus</i> et <i>T. castaneum</i> | 63 |
| Tableau 12: Influence de la dose des substances inertes sur le nombre d'émergences des insectes.... | 67 |
| Tableau 13: Test de Wilks (approximation de Rao): Effet des substances inertes sur les émergences des différentes espèces d'insectes après un, trois et six mois..... | 70 |
| Tableau 14: Efficacité des substances inertes sur l'évolution des émergences des insectes après un, trois et six mois | 72 |
| Tableau 15: Effet de la dose des substances inertes sur les dégâts causés par les insectes | 74 |
| Tableau 16: Test de Wilks (approximation de Rao): Effets des substances inertes sur les dégâts causés par les insectes après un, trois et six mois | 77 |
| Tableau 17: Efficacité des substances inertes sur les dégâts causés par les insectes après un, trois et six mois | 79 |

| | |
|---|------------|
| Tableau 18: Efficacité de la dose des différentes substances inertes sur les pertes en poids causées par <i>C. maculatus</i> , <i>S. zeamais</i> , <i>P. truncatus</i> et <i>T. castaneum</i> | 81 |
| Tableau 19: Test de Wilks (approximation de Rao): Effet protecteur des substances inertes sur l'évolution des pertes pondérales du maïs et du niébé causées par les différentes espèces d'insectes . | 84 |
| Tableau 20: Efficacité des substances inertes sur les pertes en poids causées par les différentes espèces d'insectes après un, trois et six mois | 86 |
| Tableau 21: Dispositif expérimental | 96 |
| Tableau 22: Influence du broyat et de la poudre atomisée d'épis secs de maïs sur la mortalité des insectes adultes..... | 99 |
| Tableau 23: Efficacité des extraits de broyats d'épis de maïs et de la poudre atomisée sur le nombre d'insectes émergés en fonction des différents traitements après un et trois mois | 101 |
| Tableau 24: Effet des extraits de broyat d'épis de maïs et de la poudre atomisée sur les dégâts causés par les insectes en fonction des différents traitements après un et trois mois | 103 |
| Tableau 25: Effets des extraits de broyat d'épis de maïs et de la poudre atomisée sur les pertes pondérales causées par les insectes en fonction des différents traitements après un et trois mois | 105 |

SOMMAIRE

| | |
|---|-----------|
| DEDICACES | I |
| REMERCIEMENTS..... | II |
| ACRONYMES..... | IV |
| LISTE DES FIGURES..... | V |
| LISTE DES TABLEAUX | VII |
| RESUME..... | XIX |
| ABSTRACT | XX |
| INTRODUCTION GENERALE..... | 1 |
| CHAPITRE I: REVUE DE LA LITTERATURE | 4 |
| I.1. Généralités sur le maïs et le niébé | 4 |
| I.1.1. Maïs | 4 |
| I.1.1.1. Origine et distribution géographique | 4 |
| I.1.1.2. Production du maïs..... | 4 |
| I.1.1.3. Importance et valeur nutritionnelle du maïs..... | 5 |
| I.1.2. Le niébé..... | 6 |
| I.1.2.1. Origine et distribution | 6 |
| I.1.2.2. Production du niébé..... | 7 |
| I.1.2.3. Importance, valeur nutritionnelle et utilisation du niébé | 7 |
| I.1.3. Importance du stockage des denrées..... | 8 |
| I.1.4. Contraintes liées au stockage du maïs et du niébé | 8 |
| I.2. Insectes ravageurs des stocks de céréales et de légumineuses..... | 10 |
| I.2.1. <i>Callosobruchus maculatus</i> (Fabricius)..... | 10 |
| I.2.1.1. Description morphologique..... | 10 |
| I.2.1.2. Biologie et dégâts | 11 |
| I.2.2. <i>Sitophilus zeamais</i> (Motshulsky) | 12 |
| I.2.2.1. Description morphologique..... | 12 |
| I.2.2.2. Biologie et dégâts..... | 13 |
| I.2.3. <i>Prostephanus truncatus</i> (Horn) | 14 |
| I.2.3.1. Description morphologique..... | 14 |
| I.2.3.2. Biologie et dégâts | 15 |
| I.2.4. <i>Tribolium castaneum</i> (Herbst)..... | 15 |
| I.2.4.1. Description morphologique..... | 16 |
| I.2.4.2. Biologie et dégâts | 16 |

| | |
|--|-----------|
| I.3. Les insecticides de synthèse..... | 17 |
| I.3.1. Quelques types d'insecticides..... | 17 |
| I.3.2. Importance des insecticides de synthèse dans l'agriculture..... | 17 |
| I.3.3. Effets des insecticides synthétiques sur l'environnement et la santé humaine..... | 18 |
| I.3.4. Utilisation des produits chimiques dans la lutte contre les insectes ravageurs des denrées stockées..... | 18 |
| I.3.4.1. Insecticides de contact..... | 18 |
| I.3.4.2. Fumigants..... | 19 |
| CHAPITRE II: RECHERCHE DE SUBSTANCES INERTES RICHES EN SILICE | 20 |
| II.1. Introduction..... | 20 |
| II.2. Présentation du Sénégal..... | 21 |
| II.2.1. Cadre physique | 21 |
| II.2.2. Population du Sénégal | 23 |
| II.2.3. Végétation et sols..... | 24 |
| II.3. Matériel et méthodes..... | 25 |
| II.3.1. Recherche de substances inertes riches en silice..... | 25 |
| II.3.2. Choix des sites de recherche | 25 |
| II.3.3. Sites d'échantillonnage..... | 26 |
| II.3.3.1. Lac Tanma | 26 |
| II.3.3.2. Lac Retba ou Lac Rose | 27 |
| II.3.3.3. Alou Kagne..... | 28 |
| II.3.3.4. Lompoul..... | 29 |
| II.3.3.5. Matam | 30 |
| II.3.3.6. Matériel technique | 31 |
| II.3.4. Méthodes | 31 |
| II.3.4.1. Echantillonnage | 31 |
| II.3.4.2. Analyses micropaléontologiques et sédimentologiques des échantillons prélevés..... | 33 |
| II.3.4.2.1. Analyse sédimentologique..... | 33 |
| II.3.4.2.2. Analyse micropaléontologique | 34 |
| II.4. Résultats..... | 34 |
| II.4.1. Substances inertes échantillonnées | 34 |
| II.4.2. Caractérisation des échantillons de substances inertes prélevés..... | 34 |
| II.4.3. Recherche de diatomées..... | 35 |
| II.5. Conclusion..... | 36 |
| CHAPITRE III: CRIBLAGE ET CARACTERISATION PHYSICO-CHIMIQUE DES SUBSTANCES INERTES UTILISEES DANS LA LUTTE CONTRE LES RAVAGEURS DU MAÏS ET DU NIEBE STOCKES AU SENEGAL | 37 |
| III.1. Introduction..... | 37 |
| III.2. Matériel..... | 38 |
| III.2.1. Matériel végétal..... | 38 |

| | |
|--|-----------|
| III.2.2. Les insectes | 38 |
| III.2.3. Substances inertes..... | 38 |
| III.2.4. Matériel pour analyses physico-chimiques..... | 39 |
| III.3. Méthodes..... | 40 |
| III.3.1. Efficacité des différentes substances inertes contre <i>S. zeamais</i> et <i>C. maculatus</i> | 40 |
| III.3.2. Analyses physico-chimiques des cinq substances inertes retenues..... | 40 |
| III.3.2.1. Analyses par fluorescence X | 40 |
| III.3.2.1.1. Principe de l'analyse..... | 40 |
| III.3.2.1.2. Préparation de l'échantillon | 41 |
| III.3.2.1.3. Dosage des éléments majeurs..... | 41 |
| III.3.2.2. Analyses par diffraction aux rayons X | 41 |
| III.3.2.2.1. Minéralogie totale..... | 42 |
| III.3.2.2.2. Fraction argileuse | 42 |
| III.4. Résultats..... | 43 |
| III.4.1. Efficacité des différentes substances inertes sur la mortalité de <i>S. zeamais</i> et <i>C. maculatus</i> | 43 |
| III.4.1.1. Efficacité des différentes substances inertes sur la mortalité de <i>S. zeamais</i> | 43 |
| III.4.1.2. Efficacité des différentes substances inertes contre <i>C. maculatus</i> | 44 |
| III.4.2. Analyses par fluorescence X | 45 |
| III.4.3. Analyses par diffraction aux rayons X | 46 |
| III.5. Discussion | 53 |
| III.6. Conclusion | 55 |
| | |
| CHAPITRE IV: ETUDE DE L'EFFICACITE DE SUBSTANCES INERTES DANS LA LUTTE CONTRE LES INSECTES RAVAGEURS DU MAÏS ET DU NIEBE STOCKES..... | 56 |
| IV.1. Introduction..... | 56 |
| IV.2. Matériel..... | 57 |
| IV.2.1. Matériel végétal..... | 57 |
| IV.2. 2. Substances inertes | 57 |
| IV.2.3. Matériel biologique | 59 |
| IV.2.4. Matériel de laboratoire | 59 |
| IV.3. Méthodes..... | 59 |
| IV.3.1. Dispositif expérimental..... | 59 |
| IV.3.2. Méthodologie | 60 |
| IV.3.3. Suivi de la mortalité des insectes | 60 |
| IV.3.4. Evaluation des émergences..... | 61 |
| IV.3.5. Evaluation des dégâts et des pertes pondérales..... | 61 |
| IV.3.5.1. Evaluation des dégâts | 61 |
| IV.3.5.2. Estimation des pertes pondérales | 61 |
| IV.3.6. Analyses statistiques | 62 |
| IV.4. Résultats..... | 62 |

| | |
|--|-----------|
| IV.4.1. Suivi de la mortalité des différents insectes ravageurs | 62 |
| IV.4.1.1. Influence de la dose des substances inertes d'Alou Kagne, Diobé 1 et 2, Lac Tanma 1 et 2 sur la mortalité des insectes..... | 62 |
| IV.4.1.2. Influence de la granulométrie des substances inertes d'Alou Kagne, Diobé 1 et 2, Lac Tanma 1 et 2 sur la mortalité de <i>C. maculatus</i> , <i>S. zeamais</i> , <i>P. Truncatus</i> et <i>T. castaneum</i> | 64 |
| IV.4.1.3. Efficacité des substances inertes d'Alou kagne, Diobé 1, Diobé 2, Lac Tanma 1 et Lac Tanma 2 sur la mortalité de <i>C. maculatus</i> , <i>S. zeamais</i> , <i>P. truncatus</i> et <i>T. castaneum</i> | 65 |
| IV.4.2. Evaluation des émergences..... | 66 |
| IV.4.2.1. Efficacité de la dose des substances inertes sur le nombre d'émergences des insectes . | 66 |
| IV.4.2.2. Effet de la granulométrie des substances inertes sur le nombre d'émergences des différentes espèces d'insectes..... | 68 |
| IV.4.2.3. Influence des substances inertes sur les émergences des insectes..... | 69 |
| IV.4.2.4. Effet des substances inertes sur l'émergence des différentes espèces d'insectes en fonction du temps | 70 |
| | |
| IV.4.3. Estimation des dégâts causés <i>C. maculatus</i>, <i>S. zeamais</i>, <i>P. truncatus</i> et <i>T. castaneum</i> .. | 73 |
| IV.4.3.1. Incidence de la dose des substances inertes sur les dégâts causés par les différents insectes | 73 |
| IV.4.3.2. Incidence de la granulométrie des substances inertes sur les dégâts causés par les différentes espèces d'insectes..... | 75 |
| IV.4.3.3. Efficacité des substances inertes sur les dégâts causés par les insectes | 76 |
| IV.4.3.4. Efficacité des différentes substances inertes sur les dégâts causés par les insectes en fonction du temps | 77 |
| IV.4.4. Estimation des pertes en poids causées par <i>C. maculatus</i>, <i>S. zeamais</i>, <i>P. truncatus</i> et <i>T. castaneum</i> | 80 |
| IV.4.4.1. Effets de la dose des différentes substances inertes sur les pertes pondérales occasionnées par les insectes..... | 80 |
| IV.4.4.2. Influence de la granulométrie des substances inertes sur les pertes pondérales causées par <i>C. maculatus</i> , <i>S. zeamais</i> , <i>P. truncatus</i> et <i>T. castaneum</i> | 82 |
| IV.4.4.3. Impact des substances inertes sur les pertes en poids causées <i>C. maculatus</i> , <i>S. zeamais</i> , <i>P. truncatus</i> et <i>T. castaneum</i> | 83 |
| IV.4.4.4. Incidence des substances inertes sur l'évolution des pertes pondérales du niébé et du maïs causées par les insectes | 84 |
| | |
| IV.5. Discussion..... | 87 |
| | |
| IV.6. Conclusion | 90 |
| | |
| CHAPITRE V: EFFICACITE DU BROYAT D'EPIS SECS DE MAÏS DANS LA CONSERVATION DES GRAINS DE MAÏS CONTRE TROIS INSECTES RAVAGEURS DU MAÏS AU SENEGAL..... | 91 |
| | |
| V.1. Introduction | 91 |
| | |
| V.2. Matériel | 92 |
| V.2.1. Matériel végétal | 92 |
| V.2.1.1. Le maïs | 92 |
| V.2.1.2. Broyat d'épis de maïs | 92 |

| | |
|--|------------|
| V.2.1.3. Broyat d'épis de maïs atomisé..... | 92 |
| - Processus de l'atomisation | 93 |
| V.2.2. Les insectes | 94 |
| V.2.3. Matériel chimique..... | 94 |
| V.3. Méthodes | 95 |
| V.3.1. Méthodologie..... | 95 |
| V.3.2. Dispositif expérimental | 95 |
| V.3.3. Évaluation de l'impact du broyat et de la poudre d'épis de maïs sur la mortalité de <i>S. zeamais</i> , <i>P. truncatus</i> et <i>T. castaneum</i> | 96 |
| V.3.4. Effets du broyat d'épis de maïs et de la poudre atomisée sur la réduction de l'émergence de <i>S. zeamais</i> , <i>P. truncatus</i> et <i>T. castaneum</i> après un et trois mois | 97 |
| V.3.5. Estimation des dégâts et des pertes..... | 97 |
| V.3.6. Analyses statistiques..... | 97 |
| V.4. Résultats | 98 |
| V.4.1. Suivi de la mortalité des insectes..... | 98 |
| V.4.2. Effets des extraits du broyat et de la poudre atomisée d'épis secs de maïs sur la réduction de l'émergence de <i>S. zeamais</i> , <i>P. truncatus</i> et <i>T. castaneum</i> après un et trois mois. | 100 |
| V.4.3. Effets des extraits du broyat et de la poudre atomisée d'épis secs de maïs sur les dégâts causés par <i>S. zeamais</i> , <i>P. truncatus</i> et <i>T. castaneum</i> après un et trois mois. | 102 |
| V.4.4. Estimation des pertes en poids..... | 104 |
| V.5. Discussion | 106 |
| V.6. Conclusion..... | 108 |
| CONCLUSION GENERALE..... | 109 |
| REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES..... | 111 |
| ANNEXES..... | A |
| Annexe 1: | A |
| Article publié dans IJBSC. Int. J. Biol. Chem. Sci. 9(3): 1644-1653, June 2015. | A |
| Annexe 2: Résumé du Poster présenté aux doctoriales ED-SEV 2014..... | J |
| Annexe 3: Fiche technique pour l'obtention du broyat de rafles d'épis de maïs | K |

RESUME

Le maïs et le niébé sont une source de nourriture et de revenus importants pour les populations d'Afrique subsaharienne. Lors du stockage, un large spectre d'insectes occasionne d'énormes pertes. Pour faire face à ce fléau, les solutions efficaces apportées sont essentiellement chimiques. Avec le degré des nuisances associées à l'utilisation des pesticides de synthèse (pollution de l'environnement, intoxications, etc.), la recherche de méthodes alternatives telle que l'utilisation des substances inertes et végétales s'avère indispensable pour garantir la sécurité alimentaire des populations tout en préservant leur santé et l'environnement. Ainsi donc après recherche, vingt trois substances inertes ont été recensées dans diverses zones du Sénégal. Cinq provenant d'Alou kagne, Diobé 1, Diobé 2, Lac tanma 1 et Lac tanma 2 se sont montrées plus efficaces après des tests d'efficacité sur le maïs et le niébé à la dose témoin de 2 g par substance inerte. L'analyse par fluorescence X a montré qu'il s'agit des substances inertes riches en silice dont le maximum est obtenu avec Diobé 1, soit 75,47 %. L'analyse par diffraction aux rayons X a montré que les substances inertes de Diobé 1 et Diobé 2 sont moins argileux ; il s'agit des sables siliceux. Par contre Alou kagne, Lac Tanma 1 et 2 qui sont constitués de palygorskite dominante sont des attapulgites. Les cinq substances ont été par la suite testées au laboratoire dans la conservation du maïs et du niébé contre les adultes de *Sitophilus zeamais*, *Callosobruchus maculatus*, *Prostephanus truncatus* et *Tribolium castaneum*. Des doses de 1, 2, 3 et 4 g et deux granulométries 0,3 mm et 1 mm ont été retenues pour les cinq substances inertes. Des lots non traités et l'actellic ont servi de témoins et l'expérimentation a duré six mois. Chaque dose est répétée quatre fois. Les résultats ont révélé une grande efficacité des substances inertes à l'égard des quatre insectes ravageurs avec une plus grande efficacité des substances inertes d'Alou kagne. Toutefois, cette efficacité est fonction de la finesse des particules, de la dose appliquée et de l'espèce d'insecte. *C. maculatus* est l'insecte le plus sensible. La dose D5 (4g) et la granulométrie 0,3 mm ont provoqué respectivement 80 et 67 % de mortalité chez *C. maculatus* en 14 jours et une limitation notoire de la reproduction des adultes ainsi que des dégâts et des pertes en poids en six mois. Les émergences ont évolué inversement à la mortalité et ont augmenté avec l'évolution du temps. Les dégâts et pertes sont fonction de l'insecte ; *P. truncatus* a occasionné respectivement 39 % et 13 % de dégâts et pertes en l'absence de traitement et près de 19 et 6 % aux plus faibles doses appliquées. Toutefois avec 1,6 % (p/p) (4 g/ 250 g de substrat), les pertes n'atteignent pas 2 %. Comme substance végétale, le broyat d'épis secs de maïs et leur poudre atomisée ont pu maintenir à des doses supérieures ou égales à 3,2 % (8g de broyat / 250g) des émergences, dégâts et pertes aussi faibles que celles notées avec l'actellic à un et trois mois de *S. zeamais*, *P. truncatus* et *T. castaneum*. De façon générale, le broyat d'épis de maïs à la dose 12 g et granulométrie 0,2 mm présente le plus fort pouvoir insecticide. Les substances inertes et le broyat d'épis secs de maïs apparaissent utiles et peuvent constituer une alternative aux pesticides de synthèse dans la conservation des grains de maïs et des graines de niébé contre les attaques des insectes de stocks.

Mots clés : Stocks, Sénégal, substances inertes et végétales, dose, granulométrie, insectes.

ABSTRACT

Maize and cowpea are important source of food and income for large sub-Saharan Africa populations. However, during storage, a wide spectrum of insect causes huge losses. To deal with these scourges due to insects, the effective solutions are essentially chemicals. However, the degree of harm associated with synthetic pesticides (environmental pollution, poisoning), alternative methods research such as inert dusts use, plant substances is essential to ensure population food security while preserving their health and environment. So after research, twenty three inert dusts are identified in various areas of Senegal. Five from Alou Kagne, Diobé 1, Diobé 2, Lac Tanma 1 and Lac Tanma 2 have proved more effective after effectiveness tests on maize and cowpea control the dose of 2g inert dust. X-ray fluorescence analysis showed that it is inert silica-rich substance whose maximum is Diobé 1 with 75.47 %. X-ray diffraction analysis showed that the inert dust of Diobé 1 and Diobé 2 are less clay; these are the siliceous sands. Alou kagne, Lake Tanma 1 and 2 which are constituted of dominant palygorskite are attapulgites. The five inert substances were subsequently tested in laboratory for maize and cowpeas conservation against *Sitophilus zeamais*, *Callosobruchus maculatus*, *Prostephanus truncatus* and *Tribolium castaneum* adults. 1, 2, 3, 4 g doses and two sizes 0.3 mm and 1 mm were retained for the five inert substances. Untreated lots and actellic served as controls and the experiment lasted six months. Each dose is repeated four times. The results revealed a high efficiency of the inert substances with regard to the four insect pests with a higher efficiency of the Alou Kagne inert dust. However, this efficiency depends on the particles fineness, dose and the insect species. *C. maculatus* is the most sensitive insect. D5 dose (4 g) and 0.3 mm particle size produced respectively 80 % and 67 % *C. maculatus* mortality in 14 days and a notable limitation of adult reproduction and damage and loss in weight in six months. Emergences have evolved inversely to mortality and have increased with the evolution of time. Damage and loss depends on the insect; *P. truncatus* caused 39 % and 13 % respectively of damage and loss in the absence of treatment and almost 19 % and 6 % at the lowest doses. However, with 1.6 (w/w) (4 g / 250 g of substrate), the losses do not reach 2 %. As a vegetable substance, crushed dry corn cobs and their atomized powder were able to maintain, emergencies, damage and losses at doses greater than or equal to 3.2 % (8 g crushed / 250 g), as low as those noted with Actellic after three months of *S. zeamais*, *P. truncatus* and *T. castaneum*. In general, crushed corn cobs to 12 g dose and particle size 0.2 mm has the highest insecticidal. Inert dusts and crushed dry corn cobs appear useful and can be an alternative to pesticides in the conservation of maize and cowpea grain against insect stored products.

Key words: Stocks, Senegal, inert and vegetable substances, dose, granulometry, insects.

INTRODUCTION GENERALE

Le Sénégal, pays sahélien à vocation agricole dont la nourriture est essentiellement à base de céréales, reste confronté depuis des décennies à des problèmes de sécurité alimentaire.

Leriz, le mil et le maïs sont des céréales majeures dans l'alimentation des sénégalais, tandis que l'arachide, produit de rente, jadis base de l'économie sénégalaise, et le niébé sont les principales légumineuses cultivées dans le pays (Guèye *et al.*, 2011). Ces denrées, source importante de revenus pour les cultivateurs, sont conservées dans les structures de stockage où ils subissent des pertes importantes dues aux attaques d'insectes et à leur développement. Le stockage est problématique en zone sahélienne, c'est l'un des moyens qui assure la disponibilité permanente des denrées dont la récolte intervient une fois dans l'année et les besoins de se nourrir qui sont quotidiens. De nombreuses espèces d'insectes s'attaquent aux denrées stockées, certaines sont spécifiques aux stocks alors que d'autres peuvent infester les produits depuis le champ (Ilo-wep, 1986). Ces insectes, en majorité des coléoptères, peuvent entraîner, si aucune mesure de protection n'est prise, la perte totale des denrées au bout de sept à neuf mois de stockage (Ngamo *et al.*, 2001; Trematerra *et al.*, 2002). Selon Nukenine *et al.* (2002), en Afrique subsaharienne, les petits producteurs perdent près de 80 % de leurs récoltes au bout de 6 à 8 mois de stockage du fait d'un manque de moyen adéquat de protection.

La Bruche du niébé, *Callosobruchus maculatus* Fabricius (Coleoptera: Bruchidae) et le Grand Capucin du maïs, *Prostephanus truncatus* Horn (Coleoptera: Bostrichidae) peuvent provoquer une perte totale respectivement de stock de niébé (Amevoin *et al.*, 2007) et de maïs (Guèye *et al.*, 2012) au bout de trois à six mois si la conservation n'est pas adéquate. Le Charançon du maïs, *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae) est un des plus redoutables ravageurs du maïs dans les zones tropicales et subtropicales (Danho et Haubruge, 2003; Demissie *et al.*, 2008). Les pertes qu'il occasionne peuvent atteindre 25 % de la récolte (Yuya *et al.*, 2009; Tefera *et al.*, 2011; Napaleao *et al.*, 2013) et même atteindre 40 % en six mois de stockage (Tapondjou *et al.*, 2002). Les dégâts occasionnés par ces insectes réduisent non seulement le poids, les valeurs nutritive et marchande de la denrée mais aussi le pouvoir germinatif des grains qui peut être totalement perdu (Demissie *et al.*, 2008). Les pertes post récolte de céréales et légumineuses dues aux insectes sur les stocks sont d'autant plus dramatiques que dans beaucoup de pays africains, les récoltes ne couvrent pas les besoins alimentaires et nutritionnels des populations.

Pour remédier aux pertes post-récolte et à la déprédation des insectes des stocks, certains paysans préfèrent se débarrasser de leur production même à vil prix juste après la récolte pour ne pas faire face à d'éventuelles pertes pendant le stockage. Les insecticides sont à ce jour, le principal moyen de lutte contre les insectes ravageurs surtout dans le cas de grands stocks. Toutefois, les insecticides de synthèse présentent bien des dangers pour l'environnement et pour la santé humaine et animale même à de très faibles doses (Farr *et al.*, 2004; Isman, 2006 ; Carlos, 2006). Ces composés toxiques ont des effets néfastes sur le système immunitaire et endocrinien et peuvent provoquer des cancers. Les fœtus, les enfants, les femmes enceintes et les personnes âgées sont particulièrement vulnérables. De plus, ils sont directement impliqués dans les déséquilibres des écosystèmes (Dauguet *et al.*, 2006; Glitho *et al.*, 2008). Par ailleurs, l'apparition d'un plus grand nombre d'espèces résistantes aux insecticides (Panisset *et al.*, 2003; Provost *et al.*, 2003), a imposé une recherche permanente de nouvelles molécules actives. Parallèlement, la pollution de l'environnement va *crecendo*. Ainsi donc, de nombreux pays, notamment de l'Europe, de l'Amérique, comme le Canada, et du Comité inter États de lutte contre la sécheresse au Sahel (CILSS) ont instauré une réglementation stricte de l'usage des pesticides qui vise le retrait de nombreux polluants organiques persistants (POPs) du secteur de la production alimentaire. Toutefois, cette réglementation n'est pas souvent appliquée en Afrique.

De plus, en Afrique subsaharienne, les paysans sont en général pauvres et par conséquent n'ont pas les moyens d'acquérir des pesticides chimiques en vue de lutter contre ces ravageurs de stocks. Ainsi, d'après Regnault-Roger *et al.* (2008) et Glitho *et al.* (2008) les moyens naturels de contrôle constituent des éléments importants des systèmes de production.

Pour réduire les pertes post-récolte, de plus en plus de recherches sont orientées vers l'utilisation de substances végétales et inertes à effet insecticide et/ou insectifuge (Seck, 1993; Regnault-Roger *et al.*, 2008; Guèye *et al.*, 2011 ; Aba Tournou *et al.*, 2012 ; Cissokho *et al.*, 2015). A cet effet, de nombreuses recherches ont été entreprises ces dernières années au Sénégal pour trouver des solutions alternatives aux pesticides chimiques (Guèye *et al.*, 2013). C'est dans ce cadre de recherche de méthodes de conservation des denrées stockées en harmonie avec l'environnement et la santé des populations que s'inscrit cette thèse.

L'objectif général de cette étude est de tester l'efficacité de substances inertes et végétales dans la conservation du maïs et du niébé stockés contre des insectes des denrées stockées.

Spécifiquement, il s'agit :

- ✓ de rechercher et de caractériser des substances inertes riches en silice pour la conservation du maïs et du niébé au Sénégal;
- ✓ de faire un test d'efficacité des différentes substances inertes recensées en comparant leur efficacité selon leur provenance et faire des analyses physico-chimiques des cinq plus efficaces;
- ✓ d'étudier de façon approfondie l'efficacité des cinq substances inertes les plus actives révélées par le screening contre quatre insectes ravageurs à savoir *Sitophilus zeamais* (Motschulsky), *Callosobruchus maculatus* (Fabricius), *Tribolium castaneum* Herbst (Coleoptera: Tenebrionidea) et *Prostephanus truncatus* (Horn) dans la conservation du maïs et du niébé;
- ✓ de tester l'efficacité des épis vides de maïs broyés sur trois insectes ravageurs de cette céréale (*S. zeamais*, *P. truncatus*, et *T. castenum*) dans la conservation des grains de maïs.

CHAPITRE I: REVUE DE LA LITTERATURE

I.1. Généralités sur le maïs et le niébé

I.1.1. Maïs

I.1.1.1. Origine et distribution géographique

Le maïs, bien avant de devenir une des principales céréales de l'agriculture moderne était déjà la culture vivrière de base de toutes les grandes civilisations américaines précolombiennes (FAO, 1987). Que ce soient les Aztèques au Mexique, les Mayas en Amérique centrale et au Yucatan ou les Incas au Pérou, en Equateur et en Bolivie, tous lui accordaient une place privilégiée (Carraretto, 2005). Le maïs est la seule plante cultivée d'importance dont l'ancêtre sauvage n'est pas connu avec certitude. Pour certains auteurs, l'ancêtre du maïs (*Zea mays* L.) est la téosinte, graminée sauvage que l'on trouve encore de nos jours au Mexique et au Guatemala. Cette hypothèse ne fait toutefois pas l'unanimité (Carraretto, 2005).

Le maïs est la céréale dont la zone de culture est la plus vaste. Elle s'étend sur 140 millions d'hectares de la latitude 40° Sud, en Argentine et en Afrique du Sud, à la latitude 58° Nord, au Canada. Dans les Andes, la culture du maïs culmine à 4000 m d'altitude, alors qu'en Asie occidentale pousse au dessous du niveau de la mer Caspienne (Cirad-Gret, 2002). Espèce polyvalente (FAO, 1993), le maïs prospère bien sur les basses terres tropicales, subtropicales et tempérées du fait son énorme variabilité génétique. Au Sénégal, le maïs est principalement cultivé dans les régions du centre et du sud du pays et dans la Vallée du Fleuve Sénégal (Guèye, 2012).

I.1.1.2. Production du maïs

Le maïs est la céréale la plus cultivée au monde, sa production devant légèrement celles du riz et du blé. Il est cultivé sur tous les continents selon des pratiques variées. En Afrique subsaharienne, la culture du maïs est de type traditionnel contrairement aux États-Unis où la production est moderne et intensive. D'importantes surfaces sont également consacrées à la production de maïs-fourrage destiné à l'alimentation du bétail. Selon le Conseil International des Céréales (CIC, 2016), la production mondiale de maïs a atteint 1018 millions de tonnes en 2014-2015, soit 10 millions de tonnes supplémentaires par rapport à 2013-2014. Les États-Unis avec une production mondiale de 361,1 millions de tonnes et la Chine 215,6 millions de tonnes sont les plus grands producteurs de maïs au monde ; ils représentent à eux deux 56 %

du total mondial de la production du maïs (CIC, 2016). L’Afrique du Sud, avec une production de 15 millions de tonnes, est le seul pays africain parmi les dix plus grands producteurs.

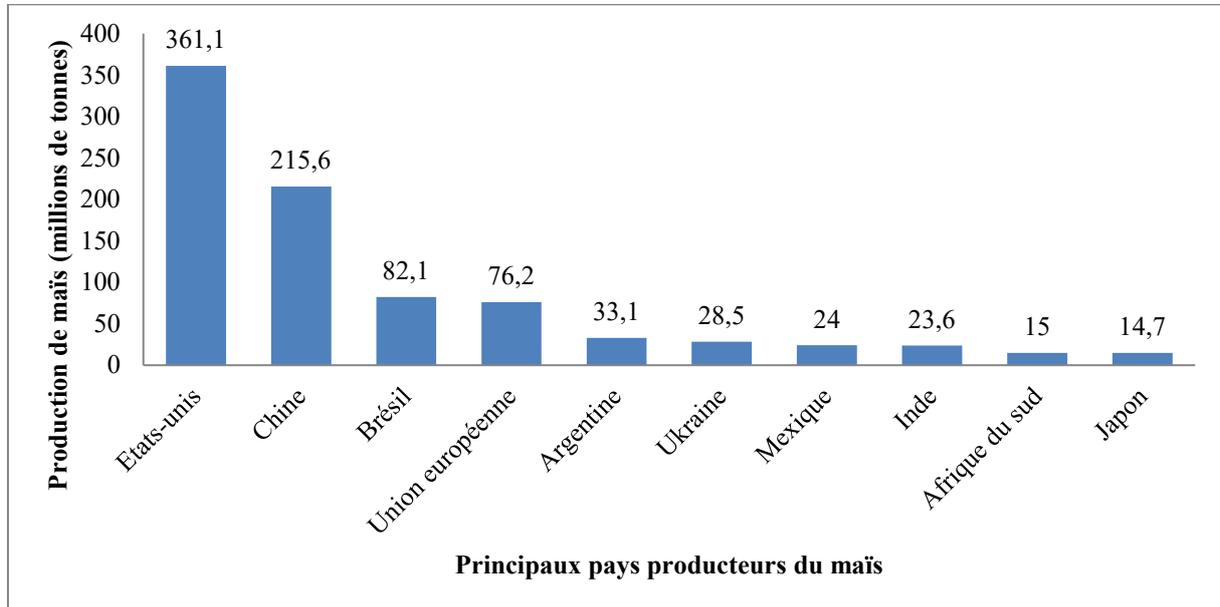


Figure 1: Principaux producteurs mondiaux du maïs en 2014/2015 (**Source:** CIC, 2016)

Au Sénégal, le maïs est une culture traditionnelle dans les parties Sud et Est du pays. Sa production reste cependant faible malgré les efforts consentis par la recherche et les sociétés d’encadrement. Lors de la campagne agricole 2014-2015, la production totale du maïs au Sénégal a été de 178 732 tonnes avec un rendement de 1221 kg/ha. Cette production a baissé de 15 % car lors de la campagne 2013-2014 elle était de 225 902 tonnes avec un rendement de 1443 kg/ha (ANSD, 2015). La région de Kaolack est la zone où le maïs a été le plus produit, soit 35 484 tonnes avec un rendement de 1 169 Kg/ha sur une superficie de 30 364 Hectares ; toutefois la région de Saint-Louis a enregistré les meilleurs rendements, soit 2500 Kg/ha (ANSD, 2015).

I.1.1.3. Importance et valeur nutritionnelle du maïs

Dans la plus part des pays tropicaux, le maïs est utilisé principalement pour l’alimentation humaine alors que dans les pays développés, il sert principalement à l’alimentation animale (Paliwal *et al.*, 2002).

Le maïs est une céréale importante dans l'alimentation des Sénégalais et est beaucoup consommé dans la Vallée du fleuve Sénégal. Dans le Sud et l'Est du pays, Kolda et Kédougou notamment, le maïs constitue l'aliment de base d'une bonne partie de la population (Guèye *et al.*, 2008).

L'importance que revêtent les céréales pour la nutrition de millions d'habitants de la planète n'est plus à démontrer. Etant donné la consommation relativement importante dont elles font l'objet dans les pays en voie de développement, les céréales ne peuvent pas être considérées uniquement comme une source d'énergie puisque qu'elles fournissent également des apports importants en protéines. Les principaux facteurs déterminant la composition nutritionnelle du maïs sont d'ordre génétique et environnemental. La variabilité de ces facteurs peut influencer sur la distribution du poids et la composition chimique de l'albumen, du germe et du tégument (FAO, 1993). Selon FAO (1993), le maïs est composé :

- ✓ de Glucides : 72 à 73 % de sucre lent (amidon) plus 1 à 3 % de sucre rapide (glucose, saccharose et fructose), soit 18,8 g de glucides pour 100 g de maïs ;
- ✓ de protéines : 8 à 11 % soit 2,9 g de protéines pour 100 g de maïs,
- ✓ de lipides : 3 à 18 % (dont 13% d'acides gras saturés), soit 1,3 g de lipides pour 100 g de maïs ;
- ✓ de fibres alimentaires, qui sont le composant chimique que l'on trouve en plus grandes quantités après les glucides, les protéines et les graisses ;
- ✓ d'acides aminés 3 à 8 % ;
- ✓ de sels minéraux dont la concentration des cendres dans le grain de maïs est d'environ 1,3 %, soit un peu moins seulement que la teneur en fibres brutes.

I.1.2. Le niébé

I.1.2.1. Origine et distribution

Le niébé semble trouver son point de départ en Afrique occidentale, très vraisemblablement au Nigeria (IITA, 1982). Au Cameroun, Pasquet et Fotso (1994) ont dénombré une centaine de cultivars sur la base de la forme des graines et des gousses.

La culture du niébé est très répandue dans les savanes tropicales d'Afrique. Cette légumineuse est aussi cultivée en Asie, en Amérique du sud et du centre, dans les caraïbes, aux Etats Unis, au Moyen-Orient et dans le Sud de l'Europe.

I.1.2.2. Production du niébé

La production mondiale du niébé est estimée à 5 737 836 tonnes de graines sèches dont 94,75 % en Afrique. Ce qui fait de cette région la première productrice et consommatrice de niébé dans le monde (FAO, 2012). Les principaux pays producteurs de niébé en Afrique sont le Nigéria (2 500 000 tonnes), le Niger (1 600 000 tonnes) et le Burkina Faso (450 000 tonnes). La production totale du niébé au Sénégal en 2014-2015 a été de 62 032 tonnes avec un rendement de 405 Kg/ha sur une superficie totale de 153 142 Hectares. Elle a augmenté comparée à celle de 2013-2014 qui était de 40 688 tonnes avec un rendement de 330 Kg/ha (ANSD, 2015). La région de Louga est la plus importante zone de production du niébé. En 2014-2015, 25 551 tonnes, sur une superficie 63 878 ha ont été produites dans cette région. Cependant, les meilleurs rendements de niébé, 615 Kg/ha, sont enregistrés dans la région de Tambacounda (ANSD, 2015).

I.1.2.3. Importance, valeur nutritionnelle et utilisation du niébé

Le niébé, graine de *Vigna Unguiculata*, est une importante denrée de base en Afrique subsaharienne, particulièrement dans les savanes arides de l'Afrique de l'ouest. Ses graines représentent une précieuse source de protéines végétales, de vitamines et de revenus pour les paysans. Les jeunes feuilles et les gousses immatures sont consommées sous forme de légume. La fane de niébé est utilisée comme fourrage pour les animaux (Tarawali *et al.*, 1997). Au niveau nutritionnel, économique et social, le niébé occupe une place importante dans la zone soudano-sahélienne et guinéenne (Isubikalu *et al.*, 2000) et constitue la plus importante légumineuse à graine cultivée en Afrique tropicale (Diaw, 1999). Selon Ndiaye (1996), il contient 3400 calories et 230 g de protéines par Kg, soit deux fois plus de calories et de protéines que le mil et le sorgho. En effet, le niébé se caractérise surtout par sa richesse en protéines (24-28 %) et autres constituants comme l'eau 11 %, les hydrates de carbone 56,8 %, les lipides (1,3 %), les fibres (3,9 %), les cendres (3,6%), la vitamine A (32,42 UI/100 g), la vitamine D (26- 78,02 ug/100 g) et la vitamine E (3,07-5,07 mg/100 g). Les grains de niébé contiennent aussi du calcium (90mg/100g), du fer (6-7mg/100g), de l'acide nicotinique (2mg/100g), de la thiamine (0,9 mg/100 g) d'après l'IITA (1982). En plus de ses qualités nutritionnelles, sa plante, peu exigeante en engrais, est tolérante à la sécheresse. Elle améliore la fertilité des sols par sa capacité à fixer l'azote atmosphérique (Adeoti *et al.*, 2002). Dans plusieurs pays, le niébé est passé de culture de subsistance à une culture de rente assez importante (Tarawali *et al.*, 1997).

Il existe un grand marché de graines et de fourrage de niébé en Afrique de l'ouest. Selon une étude effectuée au Nigeria (Dugje *et al.*, 2009), les paysans qui récoltent et stockent le fourrage de niébé pour la vente en pleine saison sèche, augmentent leurs revenus de 25 %. Dans un système de rotation de cultures, le niébé joue un important rôle comme source d'azote pour les cultures céréalières (maïs, mil et sorgho), notamment dans les zones caractérisées par une faible fertilité du sol. Ses racines sont munies de nodosités peuplées de bactéries *Rhizobium* qui fixent l'azote atmosphérique (Dugje *et al.*, 2009). Le niébé accroît la fertilité du sol et rehausse les teneurs en protéines des cultures qui le succèdent dans un système de rotation (Kossou *et al.*, 2007).

I.1.3. Importance du stockage des denrées

Dans les pays sahéliens où les déséquilibres de précipitations périodiques et une longue durée de la saison sèche sont observés, le stockage est une question de survie (Mikolo *et al.*, 2007). Il permet d'assurer la régularité de l'approvisionnement des familles et des marchés jusqu'à la prochaine récolte et d'apporter une plus-value aux agriculteurs en période de forte demande (Ntsam, 1989). Le stockage assure également la disponibilité de semences pour les campagnes agricoles à venir (Ngamo et Hance, 2007).

I.1.4. Contraintes liées au stockage du maïs et du niébé

Dans les régions tropicales et intertropicales, les légumineuses et les céréales entreposées subissent d'énormes dégâts suite aux attaques d'une diversité de ravageurs se trouvant dans des conditions de température et d'humidité favorables (Gakuru et Foua-Bi, 1996). Parmi ces ravageurs, *Sitophilus zeamais* Motschulsky et *Prostephanus truncatus* (Horn) causent d'énormes dégâts (Fig. 2) et pertes au maïs stocké. Il en est de même pour *Tribolium castaneum* (Herbst) qui, malgré son statut de ravageur secondaire des denrées stockées, causent pas mal de dégâts.



Figure 2: Grains de maïs attaqués par *Prostephanus truncatus*

Labruche du niébé *Callosobruchus maculatus* (F.), quant à elle, est le principal ennemi du niébé emmagasiné. Des attaques sévères de cet insecte peuvent occasionner une perte totale des graines stockées. L'infestation a lieu dans les champs et en entrepôt. Les adultes déposent leurs œufs sur les gousses (au champ) ou les semences (en entrepôt). Après éclosion, la larve poursuit son développement à l'intérieur de la graine et dévore le cotylédon occasionnant ainsi d'énormes dégâts. L'insecte adulte sort de la graine par les orifices creusés par la larve. C'est par ces trous qu'on arrive à identifier les graines infestées (Fig.3).



Figure 3: Graines de niébé attaquées par *Callosobruchus maculatus*

I.2. Insectes ravageurs des stocks de céréales et de légumineuses

Les coléoptères sont un ordre d'insectes dotés d'élytres protégeant leurs ailes; c'est l'ordre le plus nombreux de la classe des insectes avec près de 350 000 à 400 000 espèces décrites divisées en quatre sous-ordres (Adephaga, Archostemata, Myxophaga et Polyphaga) (Strong *et al.*, 1984). Les insectes polyphages sont les espèces constituant le sous-ordre des coléoptères le plus évolué; ils comprennent en effet plus de 100 000 espèces (Farrell, 1998). Parmi celles-ci, la famille de curculionidae avec plus de 60 000 espèces et la sous-famille des bruchidae sont les principaux ravageurs de céréales et légumineuses stockées (Alvarez, 2004).

Caryedon serratus (olivier), *Callosobruchus maculatus* (F.) et *Acanthoscelides obtectus* (Say) sont parmi les plus grands ravageurs des légumineuses en Afrique. Quant aux céréales, les ravageurs les plus connus et présentant un intérêt économique sont *Sitophilus zeamais*, *Tribolium castaneum* (Herbst), *Sitotroga cerealella* (Oliv.), *Corcyra cephalonica* et surtout *Prostephanus truncatus* (Horn).

I.2.1. *Callosobruchus maculatus* (Fabricius)

Callosobruchus maculatus ou bruche du niébé est aussi appelée bruche à quatre taches, bruche maculée ou Cowpea weevil chez les anglo-saxons. *Bruchus quadrimaculatus*, *Bruchidius ornatus*, *Bruchidius Ambigus* et *Bruchidius simatus* sont des synonymes (Aïboud, 2012). C'est un coléoptère de la famille des Bruchinae.

I.2.1.1. Description morphologique

L'adulte de *C. maculatus* (Fig.4), de forme générale ovale, mesure 2,5 à 3,5 mm de long. Les antennes sont crénelées à partir du 5^{ème} article, les derniers articles sont parfois de couleur sombre. Les élytres sont noirs avec des zones rousses revêtues d'une pubescence blanche et dorée, dessinant un « x » plus ou moins épais. Les deux sexes peuvent être distingués aisément par le pygidium large, de couleur sombre et traversé d'une ligne médiane de soies blanches chez la femelle alors que chez le mâle il est de petite taille et la ligne de soies est absente (Delobel et Tran, 1993). Selon Ouedrago (1991), la température et la teneur en eau des graines sont les deux facteurs qui induisent ce polymorphisme imaginal. Si le développement larvaire se déroule dans des graines à humidité élevée et dans un environnement à température élevée, il y'a émergence d'un fort taux d'adultes de forme voilière. Par contre, si celui-ci se déroule à basse température, quelle que soit l'humidité des graines, seuls des adultes de forme non voilière émergent. La forme voilière est capable de

voler, elle est peu féconde et constitue la forme de dissémination dans les cultures alors que la forme non voilière est incapable de voler et est sexuellement active dès son émergence de la graine (Utida, 1981; Glitho *et al.*, 1988).



Figure 4: Adulte de *Callosobruchus maculatus* (**Source:** Goergen, 2005)

I.2.1.2. Biologie et dégâts

C. maculatus est un insecte holométabole. Son cycle de développement passe par 4 stades larvaires et un stade nymphal dont la mue donne l'imago.

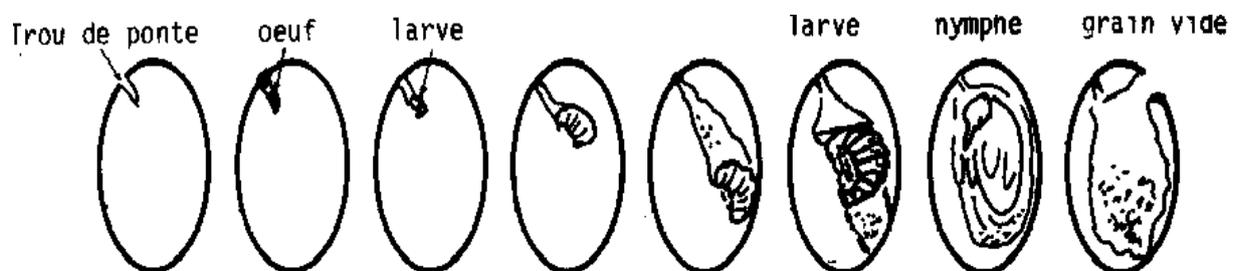


Figure 5: Cycle de développement de *C. maculatus* (**Source:** Cruz *et al.*, 1988)

La fécondité des femelles de la forme non voilière est de 60 à 90 œufs. Par contre chez la forme voilière, elle est de 10 à 15 œufs. La durée du cycle de développement est fonction de la température, de l'humidité relative du milieu, du substrat de ponte et des souches. Les conditions optimales de développement se situent à 30°C et 70 % d'humidité relative (Delobel et Tran, 1993). Selon Sankara *et al.* 2012, *C. maculatus* est une espèce endophage et cosmopolite dont le développement larvaire s'effectue à l'intérieur des graines de plusieurs légumineuses à savoir *Cicer arietinum* L. (pois chiche), *Glycine max*L. (soja), *Lablab niger*

L., *Lablab purpureus* L., *Lens esculenta* Medik. (lentilles), *Vigna mungo* L., *Pisum sativum* L., *Vicia faba* L., *Vigna unguiculata* Walp, *Vigna subterranea* L. et *Cajanus cajan* L. Cet insecte provoque des pertes importantes dans les stocks dans toutes les régions du monde où ces plantes sont cultivées. En effet, les larves se développent à l'intérieur des graines en consommant les réserves contenues dans les cotylédons et provoquent d'importantes pertes qualitatives et quantitatives (Huignard *et al.*, 2011). De toutes ces plantes-hôtes citées ci-dessus, Sankara *et al.* (2012) soutiennent que *V. unguiculata*, ou niébé, est la plante hôte la plus appréciée. En milieu rural, le manqué d'infrastructures adéquates de stockage compromet fortement la conservation des graines de légumineuses. Du fait du faible niveau d'élaboration des techniques de conservation des denrées, *C. maculatus* peut entraîner une destruction totale des stocks après 5 à 6 mois (Lienard *et Seck*, 1994 ; Lienard *et al.*, 1994; Bell, 1994). Les dégâts de la Bruche du niébé peuvent être reconnus aisément par les trous circulaires d'environ 2mm de diamètre que les adultes laissent sur les graines au moment de leur émergence (Ilboudou, 2009). Au Cameroun (Ngamo *et al.*, 2007), au Burkina Faso (Ouédraogo *et al.*, 1996) et au Nigeria (Seck *et al.*, 1991), les pertes en poids de niébé dues à *C. maculatus* sont estimées à plus de 800 g/kg après sept mois de stockage. *C. maculatus* entraîne non seulement une perte de poids sec mais également une diminution de la qualité des graines, compromettant leur consommation et le pouvoir germinatif des semences (Singh *et Singh*, 1992; Odah, 1995). Selon Murdock *et al.* (1997), lorsque les dégâts excèdent un trou d'émergence par graine, la valeur marchande du niébé s'en trouve substantiellement réduite. Tchamou (1995) a montré qu'il existe une relation entre le nombre de trous d'émergence des bruches sur les graines et les pertes de poids.

I.2.2. *Sitophilus zeamais* (Motshulsky)

Sitophilus zeamais ou le Charançon du maïs est aussi appelé maize weevil ou greater (larger) rice weevil en anglais. C'est un coléoptère de la famille des Curculionidae. Il fait parti des plus grands destructeurs du maïs dans les régions tropicales et subtropicales (Kossou *et al.*, 1993).

I.2.2.1. Description morphologique

L'adulte de *Sitophilus zeamais* (Fig.6) mesure environ 4 à 5 mm, il est de couleur brun-rouge foncé à noir. Sur chaque élytre se distinguent 2 tâches claires. L'insecte a un corps

cylindrique ; il s'identifie facilement par son rostre allongé qui porte la paire d'antennes coudées en forme de massues. *S. zeamais* ressemble beaucoup à *S. oryzae* mais il se distingue de ce dernier par sa taille plus grande et sa coloration plus sombre (Goergen, 2005). La larve est de couleur blanche, de forme sub-cylindrique, apode et très peu velue.



Figure 6: Adulte de *S. zeamais* (**Source:** Goergen, 2005)

I.2.2.2. Biologie et dégâts

Les étapes du cycle de développement de *S. zeamais* passent de l'œuf à la larve, puis à la nymphe qui deviendra un adulte. La durée du cycle de développement de *S. zeamais* est variable en fonction de la température, de l'humidité relative et du substrat de ponte. Le développement larvaire se déroule entièrement à l'intérieure de la graine. Dans les conditions optimales (27°C et 70 % d'humidité relative), *S. zeamais* accomplit son cycle de développement en 36 jours sur du maïs dont l'humidité est de 13 % (Delobel et Tran, 1993). La longévité de l'insecte est de 3 à 5 mois et la fécondité est de 350 à 450 œufs par femelle. L'insecte a un développement de type holométabole. La femelle perce une cavité dans le grain où elle dépose un œuf, puis elle obstrue l'orifice de ponte à l'aide d'une substance mucilagineuse. Après 8 à 11 jours d'incubation la larve éclot et poursuit son développement, qui dure en moyenne 20 jours, en passant par 4 stades larvaires. La larve du dernier stade mue en nymphe qui donnera au bout de 6 à 7 jours l'imago (Danho et Haubruge, 2003). Le Charançon du maïs vit dans les régions chaudes et humides du monde et est particulièrement fréquent dans les zones où le maïs est cultivé. Dans les régions tropicales et subtropicales, *S. zeamais* figure parmi les ravageurs les plus importants du maïs. Il peut se reproduire dans du maïs dans une large gamme de teneurs en eau. De ce fait, l'insecte peut infester les grains aux champs avant même le stockage (Francesca, 2011). En zone rurale où les techniques de conservation des denrées agricoles sont peu élaborées, ce ravageur peut occasionner des

pertes post-récolte pouvant atteindre 90 % en 5 mois de stockage (Nukenine *et al.*, 2002; Ngamo *et al.*, 2007). Dans les magasins qu'il infeste, les pertes peuvent atteindre 40 % en six mois de stockage (Guèye *et al.*, 2012). Cette espèce provoque des dommages au grain par la consommation, les excréments et les résidus issus des attaques des grains, et par les exuvies des larves et des nymphes. En plus du maïs, *S. zeamais* peut infester d'autres denrées comme le blé, le riz, l'orge, le sorgho, le millet, les grains entiers ou brisés. L'infestation de *S. zeamais* favorise la présence de moisissures comme les *Aspergillus* qui induisent des taux élevés d'aflatoxines dans les produits alimentaires (Delobel et Tran, 1993).

I.2.3. *Prostephanus truncatus* (Horn)

Prostephanus truncatus, communément appelé le Grand Capucin du maïs est aussi appelé le Larger Grain Borer anglais. Ses synonymes sont *Dinoderus truncatus* et *Stephanopachys truncatus*. C'est un coléoptère de la famille des Bostrychidae. Le grand capucin est d'origine méso-américaine. Il a été introduit accidentellement en Afrique où il occasionne de sérieux dégâts dans les stocks alimentaires. Il a été signalé en Afrique à la fin des années soixante-dix où il a acquis le statut de ravageur principal (GTZ, 1999 ; Helbig, 1995). Ce n'est qu'en 2007 qu'il est signalé pour la première fois au Sénégal à Vélingara Boydo et à Mankagne Sory dans le département de Kolda (Guèye *et al.*, 2008).

I.2.3.1. Description morphologique

L'adulte de *P. truncatus* (Fig.7), mesure 3,5 à 5 mm de long. Il est de couleur marron foncé avec des antennes rousses (Nansens et Meikle, 2002). Le corps a une forme cylindrique avec la tête orientée vers le bas. La larve a trois paires de pattes, elle est de couleur blanche, charnue et peu couverte de soies. *P. truncatus* ressemble à *Rhyzopertha dominica* appelé le petit perceur des céréales. L'extrémité tronquée de *P. truncatus* et sa grande taille permettent de le distinguer aisément de *R. dominica* (Delobel et Tran, 1993; Goergen, 2005)



Figure 7: Adulte de *Prostephanus truncatus* (**Source:** CTA, 1998)

I.2.3.2. Biologie et dégâts

P. truncatus a un développement de type holométabole marqué par 3 stades larvaires et un stade nymphal qui donne l'imago suite à la mue. Dans les conditions optimales (30-32° C et 70-80 % d'humidité relative), le cycle biologique a une durée moyenne de 24 jours (Delobel et Tran, 1993). *P. truncatus* s'attaque principalement au maïs qu'il broie complètement et transforme en farine. Il s'attaque aussi aux cossettes de manioc (Delobel et Tran, 1993; Goergen, 2005). En fonction du temps de stockage, des pertes en poids respectives d'environ 45 et 100 % de maïs et de manioc ont été observées en Afrique de l'ouest alors qu'au Mozambique 62 % de pertes en poids de manioc ont été observées (Muatinte *et al.*, 2014). Selon Goergen (2005), *P. truncatus* peut provoquer plus de 40 % de pertes sur le maïs en 6 mois de stockage et de 70 % sur les cossettes de manioc en 4 mois de stockage. Outre les denrées citées ci-dessus, le grand capucin du maïs est capable de se développer dans des substrats ligneux y compris les semences forestières et aux bois de certaines infrastructures de stockage (Guèye *et al.*, 2008).

I.2.4. *Tribolium castaneum* (Herbst)

Tribolium castaneum, appelé aussi Tribolium rouge de la farine ou Petit ver de la farine, est un coléoptère de la famille des Tenebrionidae. Originaire d'Asie du Sud, *T. castaneum* est devenu cosmopolite.

I.2.4.1. Description morphologique

L'adulte de *T. castaneum* (Fig.8), de couleur brun rougeâtre à noir, mesure 3 à 4 mm. Il a un corps allongé, étroit, à bord parallèle. Le pronotum est aussi large que les élytres et non rebordé antérieurement. Les 3 derniers articles des antennes sont nettement plus gros que les précédents et forment une massue. Les yeux sont de forme ovale. Le mâle se distingue de la femelle par la présence d'un tubercule pilifère arrondi à la base du fémur. La larve très effilée, environ 8 fois plus longue que large, mesure 5 à 6 mm. Elle est de couleur jaune pâle à maturité, avec latéralement quelques courtes soies. La capsule céphalique et la face dorsale sont légèrement rougeâtres. Une paire d'urogomphes recourbées vers le haut se trouve au niveau du dernier segment abdominal (Delobel et Tran, 1993).



Figure 8: Adulte de *T. castaneum* (Source:Robiche, 2002)

I.2.4.2. Biologie et dégâts

Chez *T. castaneum*, la longévité est de 2 à 8 mois suivant les conditions du milieu. La femelle a une fécondité moyenne de 500 œufs. Cependant, si elle se trouve sur de la farine à 35° C, la fécondité peut augmenter jusqu'à 1459 œufs. L'insecte a un développement de type holométabole et la durée du cycle est d'environ un mois. Mais elle peut atteindre 120 jours à des températures comprises entre 35 et 38° C. La femelle pond sur les graines une dizaine d'œufs qui éclosent au bout de 5 jours à 30° C. Le développement larvaire comprend les conditions optimales 5 à 8 stades et jusqu'à 13 stades dans les cas défavorables. Les larves circulent librement dans les denrées infestées et s'y nymphosent. Au bout de 6 jours l'adulte émerge de la nymphe (Delobel et Tran, 1993). Ravageur secondaire, adultes et larves attaquent surtout des grains endommagés. Les denrées infestées sont le riz, le blé, le maïs, le sorgho, le millet, les légumineuses, le manioc et l'igname. Les insectes libèrent des substances

quinoléiques qui donnent à la denrée une odeur répulsive caractéristique en cas de forte infestation (Goergen, 2005; Guèye, 2012).

I.3. Les insecticides de synthèse

Les insecticides de synthèse ont connu des améliorations de qualité qui font aujourd'hui qu'ils sont présents dans tous les secteurs d'activités.

Selon le MEPN (2005), au Sénégal, objet d'un marché intérieur d'environ 121,1 milliards de francs CFA/an, les insecticides de synthèse, utilisés comme intrants agricoles, et comme désinfectants et/ou médicaments en santé publique, constituaient en 2001 la matière première et/ou le produit fini de près de 100 entreprises industrielles.

I.3.1. Quelques types d'insecticides

Les insecticides organiques naturels sont des extraits de plantes obtenus par simple broyage de la partie de la plante préalablement séchée contenant la matière active. Plus de 2000 espèces végétales dotées de propriétés insecticides ont été répertoriées (Philogène *et al.*, 2002).

Les hydrocarbures phosphorés ou organophosphorés sont des esters ou des sels organiques de l'acide phosphorique ou de ses dérivés. Certains de ces insecticides proviennent de composés mis au point pendant la seconde guerre mondiale dans le cadre de recherche d'armes chimiques (Kumar, 1991).

Les hydrocarbures chlorés ou organochlorés sont des composés assez complexes, stables et de faible volatilité. D'après Kumar (1991), ces composés sont parmi les insecticides les plus persistants à cause de la stabilité de leurs résidus dans la nature après usage.

I.3.2. Importance des insecticides de synthèse dans l'agriculture

Les insectes produisent les dégâts les plus importants représentant au moins 50% des pertes en région tropicale (FAO, 2001). Dans les greniers paysans, après six mois de conservation, les pertes dues aux bruches se situent entre 70 et 80% (Tapondjou *et al.*, 2002). Par ailleurs, une mauvaise gestion de la protection de ces récoltes peut les transformer en véritable poison pour les consommateurs (Bell *et al.*, 1998). Pour lutter contre ces insectes ravageurs, les pesticides sont les substances les plus utilisées. Ils ont pour avantage de maximiser les

rendements des exploitations agricoles et la qualité des produits, de minimiser la main d'œuvre, de répondre aux exigences en matière de préservation des végétaux et de permettre la commercialisation des produits agricoles.

I.3.3. Effets des insecticides synthétiques sur l'environnement et la santé humaine

Les pesticides peuvent être transportés soit par le vent au cours du traitement, soit par le biais du système d'égouts et par les ruissellements en provenance des champs et des lieux de traitement. Ils peuvent retrouver dans les cours d'eau où ils auront la possibilité de pénétrer dans la chaîne alimentaire (Thiam et Ducommun, 1993). Ainsi, les hommes et les animaux sont exposés aux pesticides par l'air, l'eau et les aliments contaminés. Dans les champs, les oiseaux pollinisateurs et granivores peuvent absorber les pesticides par contact (pattes, peau), par inhalation ou par ingestion par la consommation de grains et/ou d'insectes contaminés. Les insecticides organophosphorés, comprenant le disulfoton, le fenthion et le parathion, sont hautement toxiques pour les oiseaux. Ceux-ci ont fréquemment empoisonnés les rapaces à la recherche de nourriture dans les champs (Mineau, 2005).

Un nombre important de travailleurs dans les pays tropicaux et subtropicaux sont intoxiqués chaque année par des pesticides dont ils ignorent le mode d'emploi (Isman 2006). L'utilisation des pesticides chimiques a également des conséquences néfastes sur la réduction de la biodiversité. L'usage des pesticides peut entraîner la destruction d'organismes utiles tels que les décomposeurs, qui sont un élément essentiel du processus d'humification et des cycles biogéochimiques, et de nombreux prédateurs de parasites (Glitho *et al.*, 2008). La toxicité des insecticides synthétiques est le résultat de la présence de leurs résidus dans les aliments (Goudoum, 2010).

I.3.4. Utilisation des produits chimiques dans la lutte contre les insectes ravageurs des denrées stockées

I.3.4.1. Insecticides de contact

Le choix rationnel d'un insecticide demande une bonne connaissance des propriétés des différentes matières actives, de leurs formulations ainsi que de leurs comportements dans diverses conditions d'emploi (Plarre *et al.*, 1993). Tout comme les insecticides utilisés au champ, les produits de protection des stocks sont également caractérisés par leurs matières actives et classés par famille chimique. Pour les denrées stockées, on utilise principalement

des produits organophosphorés, des pyréthriinoïdes de synthèse et des produits composés à partir de deux matières actives appartenant aux deux familles. Les organophosphorés possèdent de larges spectres d'action mais ont une action limitée contre les Bostryches (Haubruge, 1987). Les pyréthriinoïdes de synthèse se caractérisent par leur longue persistance d'action et leur faible toxicité pour l'homme. Ils sont extrêmement persistants dans les céréales (plus de deux ans) et contrôlent bien les Bostryches et les teignes. On les utilise contre des complexes de ravageurs comme les charançons (espèces du genre *Sitophilus*) et le Grand Capucin du Maïs (*P. truncatus*) (Haubruge, 1987).

I.3.4.2. Fumigants

La fumigation est l'opération consistant à introduire un gaz ou une substance donnant naissance à un gaz dans l'atmosphère d'une enceinte plus ou moins fermée (ou dans le sol, dans le cas de pesticides fumigants) en vue d'y détruire des organismes vivants dits nuisibles (Kim *et al.*, 1994).

Après l'interdiction du bromure de méthyle, la phosphine (hydrogène phosphoré) communément appelé phostoxin est devenue le fumigant le plus courant de la désinsectisation des lots de grains et graines stockés (Huignard *et al.*, 2011). Benhalima *et al.* (2004) rapportent des cas de tolérance de populations de *Sitophilus zeamais* (Motsch.) à la phosphine au Maroc. L'hydrogène phosphoré est présenté en comprimés dans le commerce, ce qui permet une distribution facile et une application simple. Il ne se libère qu'au contact de l'humidité de l'air ambiant. Ce gaz est une substance extrêmement toxique capable d'anéantir la totalité des ravageurs des stocks si on l'applique correctement. Etant donné la forte toxicité de l'hydrogène phosphoré pour l'homme, il ne doit être manipulé que par un personnel compétent.

CHAPITRE II: RECHERCHE DE SUBSTANCES INERTES RICHES EN SILICE

II.1. Introduction

On appelle substance inerte toute substance qui ne subit aucune modification physique, chimique ou biologique importante, ne se décompose pas, ne brûle pas, ne produit aucune réaction physique ou chimique, n'est pas biodégradable, ne détériore pas les matières avec lesquelles il entre en contact d'une manière susceptible d'entraîner des atteintes à l'environnement ou à la santé humaine (Duval, 1991). Selon Bank et Field (1995), il existe quatre types de substances inertes : la terre, le sable, les cendres de bois et les argiles constituent un groupe de matériaux utilisés couramment par les petits agriculteurs du monde en développement comme protecteurs du grain ; les terres à diatomées qui sont des restes fossilisés de diatomées, composés principalement de silice amorphe hydratée mais ayant d'autres minéraux tel que l'aluminium, l'oxyde de fer, le magnésium, le sodium ; les gels siliceux (aérogels de silice) produits par séchage d'une solution aqueuse de silicate de sodium et les poudres inertes non siliceuses telles que les roches phosphatées, la terre soufrée, la chaux (hydroxyde de calcium), le calcaire (carbonate de calcium) et le sel (chlorure de sodium).

Pour réduire les pertes post-récolte des céréales et légumineuses, il faut améliorer les connaissances du système de gestion post-récolte en investissant dans la recherche et l'innovation, en renforçant les capacités et en facilitant l'accès aux technologies et aux infrastructures améliorées. Pour ce qui concerne la recherche et l'innovation, les substances inertes sont un sujet prometteur. Leur utilisation, qui remonte au temps des Aztèques au Mexique (Golob, 1997), a montré qu'elles pouvaient jouer un rôle important dans la conservation des denrées stockées. L'avantage des substances inertes repose sur le fait qu'elles sont peu ou pas toxiques pour les êtres humains, peuvent assurer une protection à long terme contre les insectes ravageurs et peuvent facilement être enlevées de la graine après le traitement (Athanassiou *et al.*, 2005).

Dans ce chapitre, il est question de rechercher au Sénégal des substances inertes riches en silice pouvant se substituer aux pesticides de synthèse dans la conservation du maïs et du niébé. De façon spécifique, il s'agit de trouver, d'échantillonner et de caractériser par des analyses paléontologiques et sédimentologiques des substances inertes.

II.2. Présentation du Sénégal

II.2.1. Cadre physique

Le Sénégal est situé à l'extrême ouest du continent africain, entre 12°30 et 16°30 de latitude nord et 11°30 et 17°30 de longitude ouest. Sa superficie est de 196 722 km². Il est limité au nord, par la République islamique de Mauritanie, à l'est par le Mali, au sud par la Guinée Conakry et la Guinée Bissau et à l'ouest par l'océan Atlantique (CSE, 2000). Dans sa partie méridionale, la Gambie constitue une enclave de 300 km de long sur 32 km de large (figure 9).



Figure 9: Situation géographique du Sénégal (**Source:** FAO, CSE, 2007)

Le Sénégal est un pays plat, à relief peu accidenté sauf sur la presqu'île volcanique du Cap-Vert, la "falaise" de Thiès et les premiers contreforts du massif du Fouta Djallon, à la frontière avec la Guinée d'où naissent les quatre fleuves qui traversent le pays (le Sénégal, la Gambie, le Saloum et la Casamance) (CSE, 2005).

Le Sénégal a une façade maritime de 700 km de plages sableuses sauf sur quelques rares parties rocheuses dans la presque île du Cape Vert et la région de Thiès. De Saint Louis à

Dakar, au Nord, la côte est longée par une bande de dépressions interdunaires fertiles appelées Niayes propices aux cultures légumières du fait de l'avantage des alizés maritimes (Seck *et al.*, 2005). Au sud de la presqu'île volcanique du Cap vert, la côte est par contre découpée par les falaises de Toubab Dialaw ensuite par la mangrove du Saloum, où les bras de mer pénètrent dans les terres dans un labyrinthe inextricable formant ainsi des dizaines d'îles. La zone de la basse Casamance, plus au sud, présente une végétation très dense. La position du Sénégal dans le bassin sédimentaire sénégal-mauritanien explique en grande partie la faiblesse des altitudes. La diversité des sols et leur vocation agricole, combinées à la diversité climatique et à la disponibilité de ressources hydriques ont abouti à la détermination de sept entités géographiques homogènes appelées zones agro-écologiques (Fig.10).

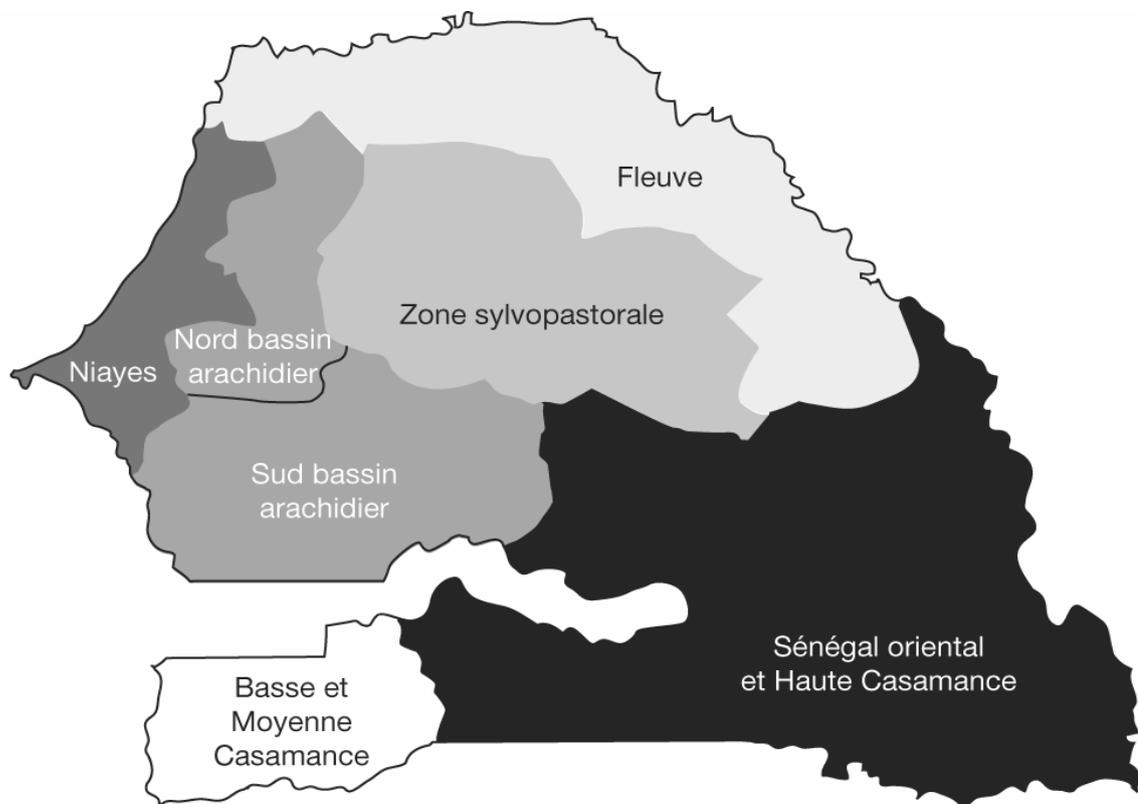


Figure 10: Zones agro-écologiques du Sénégal (**Source:** ISRA, ITA, CIRAD, 2005)

La situation du Sénégal en latitude et sa position de finistère ouest africain, entre les milieux océanique et continental expliquent l'originalité des conditions physiques.

Sur le plan géologique, Le Sénégal est caractérisé par deux grands ensembles géologiques et structuraux:

- le bassin sédimentaire côtier sénégal-mauritanien constitué de couches d'épaisseur variable de sables, argiles et calcaires qui s'étendent sur 1 400 km depuis la Mauritanie jusqu'en Guinée Bissau;

- le socle ancien, représentant moins de 1/5 du territoire, est constitué de formations plutoniques et métamorphiques dans la partie orientale du Sénégal (Kane, 2007).

Deux saisons principales marquent le régime climatique du Sénégal:

- une saison sèche de novembre à mai caractérisée par la prédominance des alizés du Nord (alizé maritime issu de l'anticyclone des Açores et l'Harmattan issu de l'anticyclone libyen);
- une saison pluvieuse, de juin à octobre, pendant laquelle souffle la mousson, vent chaud et humide, issu de l'anticyclone de Sainte Hélène (CSE, 2000). Le maximum pluviométrique se situe en août ou septembre. La saison pluvieuse excédant rarement quatre mois. La pluviométrie a sensiblement baissé depuis 40 ans, elle varie de plus de 1000 mm par an dans le sud à moins de 300 mm par an au nord (CSE, 2000).

La répartition spatiale des précipitations permet de diviser le pays en deux grandes régions climatiques de part et d'autre de l'isohyète 500 mm :

Du Nord au Sud, les principaux climats rencontrés au Sénégal sont :

- le climat sahélien presque désertique, avec des précipitations annuelles ne dépassant pas 350 mm;
- le climat sahélo soudanien, de type continental sec, compris entre les isohyètes 350 et 700 mm;
- le climat soudano sahélien, moins chaud et moins sec, caractérisé par une pluviométrie annuelle oscillant entre 700 et 900 mm;
- Le climat soudanien, compris entre les isohyètes 900 et 1000 mm;
- Le climat soudano guinéen, caractérisé par d'importantes précipitations de l'ordre de 1000 à 1200 mm.

II.2.2. Population du Sénégal

Selon le rapport issu du Recensement Général de la Population et de l'Habitat, de l'Agriculture et de l'Elevage (RGPHAE, 2013) mené en décembre 2013, la population du Sénégal est évaluée à 13 508 715 habitants, dont 49,9 % d'hommes et 50,1 % de femmes. Cette population se caractérise par sa jeunesse: l'âge moyen de la population est de 22,4 ans et la moitié de la population a 18,7 ans (âge médian). La population rurale y apparaît plus jeune avec un âge médian se situant à 15 ans contre 21 ans en milieu urbain. Cela est, précise le document, le reflet de l'exode rural qui concerne généralement les jeunes adultes des zones rurales. Selon toujours l'étude, la population est en majorité rurale avec 54,8% contre 45,2 % de citadins. Sur le plan de la répartition spatiale, l'enquête souligne qu'il existe une disparité

dans le peuplement des circonscriptions administratives. La région de Dakar avec 3 137 196 habitants est de loin la région la plus peuplée, alors que la région de Kédougou est la moins peuplée avec 151 715 habitants. Avec une densité moyenne nationale de 69 habitants au Km², Dakar est aussi la région où la concentration du peuplement est plus accentuée avec 5 735 habitants au Km² contre seulement 9 habitants au Km² à Kédougou (Fig. 11).

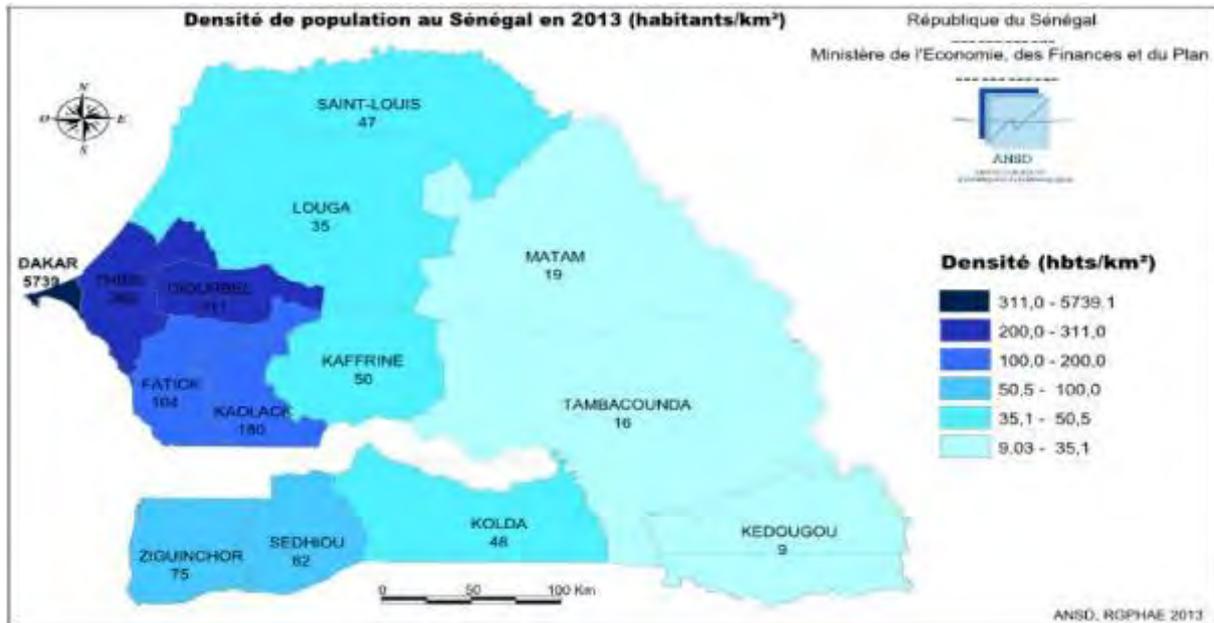


Figure 11: Densité de la population du Sénégal en 2013 (habitant/km²) (**Source:** ANSD, RGPHAE, 2013)

II.2.3. Végétation et sols

Au Sénégal la végétation naturelle est liée aux conditions climatiques. Elle varie du nord au sud en formant des bandes d'orientation est-ouest:

- au nord (zone sahélienne) s'étend la steppe arbustive avec des acacias et quelques baobabs. Cette végétation est fortement soumise à la dégradation et à la désertification;
- dans la bande allant de Dakar à Matam, on trouve une savane arborée avec des acacias, des baobabs et des fromagers;
- dans la bande allant de Kaolak à Tambacounda, la savane se densifie et on trouve des forêts. Aux arbres de la zone ci-dessus s'ajoute le palmier;
- au sud (région de la Casamance), la forêt devient importante; on y trouve en plus le filao et le ronier.

Les grands domaines phytogéographiques du Sénégal sont:

- le domaine sahélien caractérisé par des formations ouvertes dominées par *Acacia raddiana*, *Acacia senegal*, *Acacia seyal*, *Balanites aegyptiaca*, *Commiphora africana*, et des graminées annuelles formant un tapis plus ou moins continu (CSE, 2000);
- le domaine soudanien caractérisé par une végétation du type savane arborée/boisée à forêt sèche et un tapis herbacé dominé par des graminées vivaces;
- le domaine guinéen caractérisé par une forêt semi-sèche dense à deux étages et un sous-bois dense formé d'arbrisseaux sarmenteux, de lianes et de plantes herbacées (CSE, 2000).

Les sols quant à eux présentent une diversité inhérente à la dynamique géomorphologique et pédo-climatique.

La zone du sud-est se présente avec des sols caillouteux des plateaux de grès des contreforts du Fouta-Djalon. Sur les plaines argileuses et sur les bassins versants traversés par la Basse Falémé se sont formés des vertisols. Par endroits, se rencontrent des sols ferrugineux généralement lessivés sur de cuirasses ferrugineuses des collines (MEPN, 1997).

La zone des plateaux du bassin sédimentaire est un modèle uniforme contrastant avec la variation des sols en fonction de l'importance de la pluviosité. Se succèdent i) des sols bruns et bruns-rouges sur les plateaux et les dunes fixées (du Ferlo septentrional à l'ouest du lac de Guiers), ii) des sols ferrugineux non lessivés formés des dunes fixées (du Cayor au Ferlo central), iii) des sols ferrugineux lessivés du Sine-Saloum et iv) des sols ferrallitiques des bas plateaux du Saloum et de Basse Casamance (CSE, 2005).

La vallée du Sénégal et les régions littorales sont sous influence des facteurs hydrologiques (MEPN, 1997).

II.3. Matériel et méthodes

II.3.1. Recherche de substances inertes riches en silice

Elle a été faite dans plusieurs zones du Sénégal. Ainsi, sur la base des travaux antérieurs menés en géologie, nous avons pu nous orienter sur les cibles ayant le maximum de chances de trouver des terres riches en silice.

II.3.2. Choix des sites de recherche

Des substances inertes telles que le sable et surtout la cendre ont été expérimentées aussi bien pour les stocks vivriers que pour les semences (De Groot, 2004). L'utilisation des substances inertes dans la conservation des récoltes connaît un regain d'intérêt avec notamment

l'utilisation des terres à diatomées dans la conservation des récoltes. Il s'agit d'extrait à base de diatomites qui sont des roches naturelles riches en silice. Leur application repose sur des teneurs en silice dépassant 90 %. Korunić et Mackay (2000) estiment que leur efficacité, l'absence de toxicité pour l'homme et l'absence de risque pour l'environnement les positionnent comme une alternative aux pesticides. Les substances inertes riches en silice possèdent des propriétés insecticides pour la conservation des semences. La recherche de substances inertes riches en silice a été basée sur des recherches antérieures ; ce qui nous a mené vers trois pistes:

- l'utilisation des "terres supposées à diatomées" du lac Tanma;
- la recherche de terres à diatomées. Les diatomites connues à travers le monde sont datées du Miocène supérieur. Or les terrains appartenant à cette tranche d'âge sur le bassin sénégalais sont généralement oxydés et appartiennent au Continental Terminal (Sow, 2011). Les terrains d'âge Miocène supérieur non oxydés, ne sont connus qu'au Nord, dans les régions de Saint Louis et Matam; d'où l'exploration des terres de Matam;
- l'utilisation de sables siliceux. Ils représentent 70% de la superficie du territoire sénégalais et sont riches en silice. Les études menées dans le cadre du PASMI (Programme d'Appui au Secteur Minier) par Roger *et al.* (2009) ont montré l'existence d'un potentiel important en sable siliceux le long du littoral nord, en particulier dans les sites de Potou, Lac Rose, Lompoul, Diogo et Malika.

II.3.3. Sites d'échantillonnage

II.3.3.1. Lac Tanma

Le lac Tanma (Fig. 12) est situé à 45 km à l'extrémité nord-est de Dakar. Il s'allonge sur une quinzaine de kilomètres suivant un axe approximativement nord-sud. Sa largeur moyenne est d'environ 2,5 km sauf au 1/3 de sa longueur en partant de l'extrémité nord où il présente un étranglement de 0,750 km sur 1,5 km. Cet étranglement va de pair avec un changement de la direction d'allongement qui devient NE-SW (Trénous *et al.*, 1968).

Le lac Tanma se trouve sur le flanc nord du horst de Ndiass. Ce horst a connu une histoire mouvementée au Crétacé supérieur et à la fin du Tertiaire avec des périodes d'émersion et de submersion se terminant par un basculement N-S ayant entraîné le soulèvement de la partie sud et l'affaissement de la partie nord abritant le lac Tanma (Martin 1970). Le lac Tanma correspond à une vallée remblayée dans le prolongement du cañon sous-marin de Cayar localisé sur l'emplacement d'un accident tectonique (Elouard *et al.*, 1977).

Sur la bordure occidentale du lac affleurent en plusieurs points les formations de l'Eocène inférieur et moyen: argiles papyracées blanches et marnes à la base suivies d'argiles à silex et enfin des calcaires massifs à discocyclines. Ces zones d'affleurement qui correspondent au substratum des dépôts quaternaires sont limitées car elles s'ensoufflent sous des revêtements de dunes rouges ogoliennes.

A la base de ces hauteurs et en direction du lac, apparaît la terrasse à *Anadarasenilis*. Cette formation récente qu'on retrouve sur tout le littoral du bassin sénégal-mauritanien a été mise en place lors de la transgression nouakchottienne. Durant cette période le lac Tanma correspondait à un golfe marin (Elouard *et al.*, 1977).

A son extrémité nord, le lac est fermé en direction de la mer par un important cordon dunaire appartenant au système des «dunes vives» subactuelles (Michel, 1973). Il reste asséché pendant une bonne partie de l'année et n'offre de l'eau que pendant l'hivernage (juillet - octobre) et les deux ou trois mois qui suivent cette période (novembre - décembre).

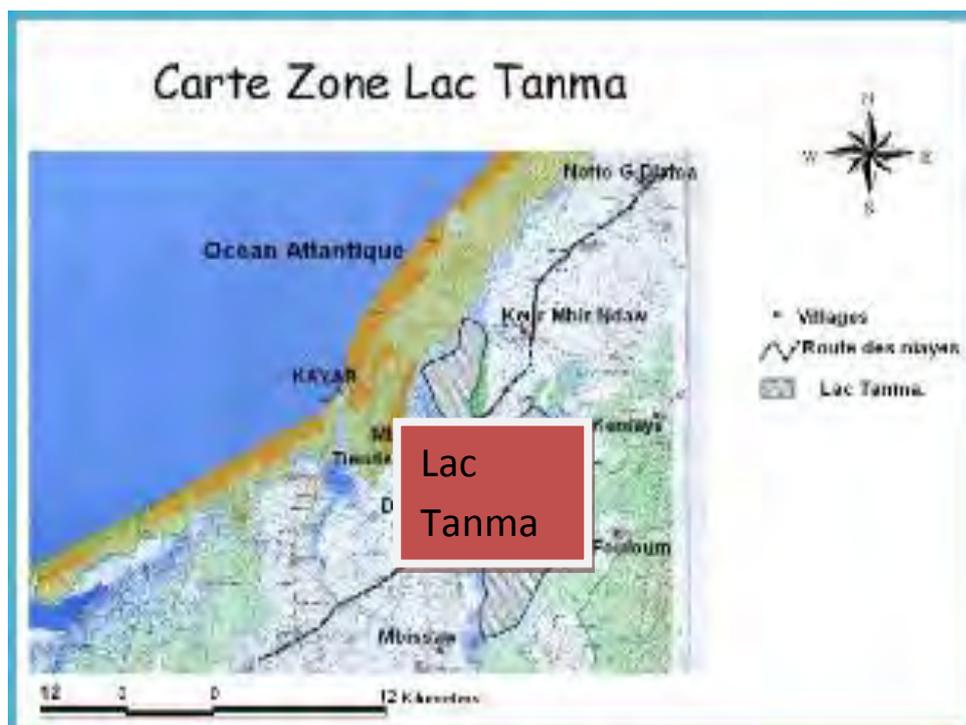


Figure 12: Localisation du Lac Tanma (**Source:** www.au-senegal.com)

II.3.3.2. Lac Retba ou Lac Rose

Le Lac Rose est un grand lagon de 3 km², peu profond, entouré de dunes et situé à quelques centaines de mètres de l'océan Atlantique, à 35 km au nord-est de Dakar (Fig. 13). Sa couleur est due à une cyanobactérie, organisme microscopique qui fabrique, surtout par temps de vent sec,

un pigment rouge pour résister à la concentration de sel. Il est situé sur le territoire du village de Sangalkam dans la presqu'île du Cap Vert (partie occidentale du pays) (Lezine, 1986) et a connu depuis le début de sa formation au Nouakchottien, une évolution passant d'un système de lagune ouverte sur l'Océan Atlantique au système fermé actuel. De nos jours, il constitue un écosystème particulier très sérieusement menacé dans son existence par une exploitation abusive de ses ressources: exploitation de sel et de coquillage, tourisme.

En raison de l'intérêt qu'il présente sur les plans scientifique et économique, le lac Retba a fait l'objet de plusieurs études (Carn *et al.*, 1976; Elouard *et al.*, 1975 et 1977; Garnier, 1978). Les domaines tels que la géomorphologie, l'hydrogéologie et la géochimie ont été largement traités.



Figure 13: Localisation du Lac Rose (**Source:** www.au-senegal.com)

II.3.3.3. Alou Kagne

Situé dans la région de Thiès, département de Thiès, Communauté Rurale de Keur Moussa plus précisément entre Thiès et Pout (Fig.14), Alou Kagne est constitué de collines latéritiques peu boisées du côté de la route nationale N°1 et d'une flore fortement boisée qui s'étend à perte de vue de l'autre côté de la voie. C'est un lieu mythique aux multiples faits

historiques et mystiques qui se sont déroulés à cet endroit. Cette zone marque également l'aval de la vallée (de l'étroite échancrure dominée du nord au sud par des plateaux) à l'intérieur de laquelle est implantée Thiès. D'importants gisements d'attapulgites, une réserve de 50 000 000 T selon le CSE (2005) sont reconnus à Alou Kagne.

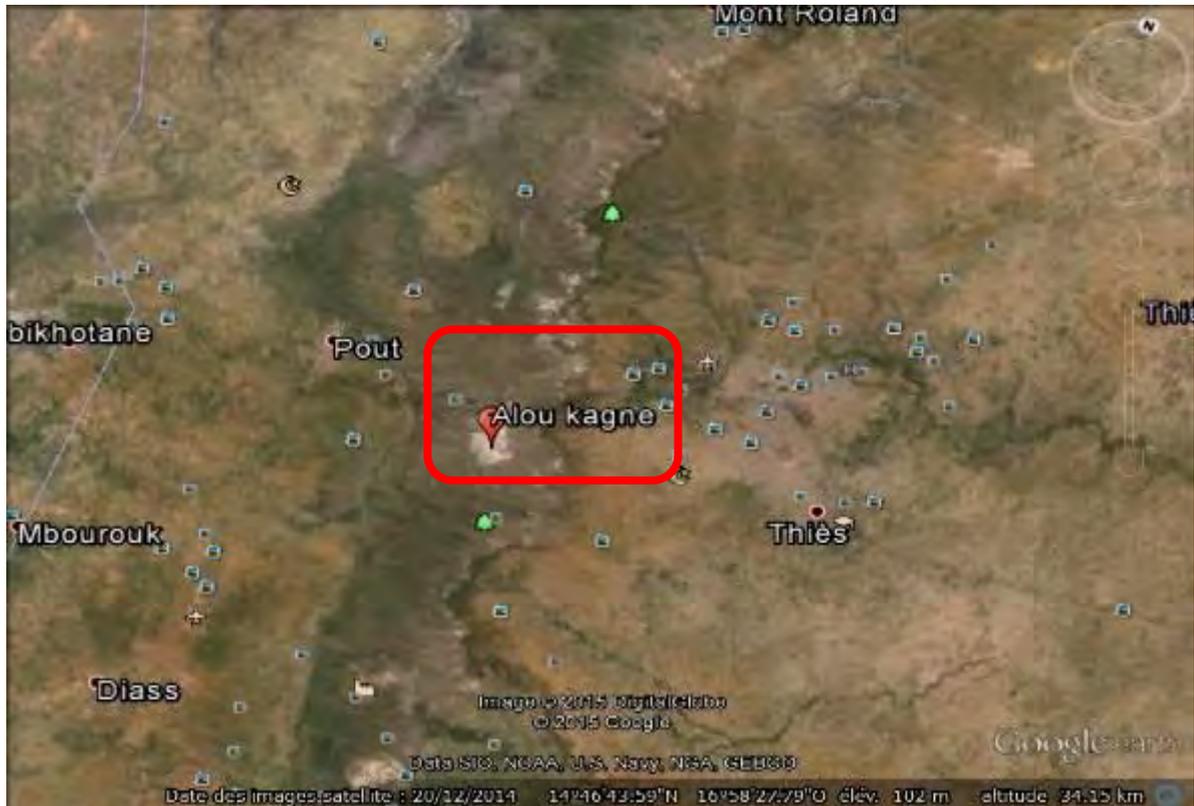


Figure 14: Localisation géographique d'Alou Kagne (**Source:** Google earth, 2012)

II.3.3.4. Lompoul

Le village de Lompoul sur mer a été fondé, il y a près de deux siècles par des Peulhs transhumants. Sur le plan administratif, il est rattaché depuis le 21 février 2002 (suite au Décret N° 2002-170) à la Communauté Rurale de Kab Gaye, Arrondissement de Ndande, Département de Kébémér et Région de Louga (Fig.15). Auparavant, il dépendait de la Communauté Rurale de Mboro qui est rattachée à la Région de Thiès.



Figure 15: Situation géographique de Lompoul (**Source:** www.au-senegal.com)

II.3.3.5. Matam

La région de Matam est située entre 14°20 et 16°10 de la latitude nord et 12°40 et 14°60 de la longitude ouest. Elle est limitée au nord par la république Islamique de Mauritanie et la région de Saint-Louis, au sud et au sud-est par la région de Tambacounda, au sud-ouest par la région de Kaolack, à l'est par la Mauritanie et à l'ouest par la région de Louga.

Matam est caractérisé par la présence du fleuve Sénégal sur toute la partie orientale et septentrionale. Le relief est relativement plat comparé au reste du pays. Il est marqué par une vaste plaine incisée de vallées. Les hautes levées sont la principale caractéristique du relief. Leurs hauteurs diminuent d'amont en aval et elles atteignent 13 m à Matam.

Il existe dans la région de Matam quatre types de sols : les sols des berges du fleuve et des marigots appelés Falou, partie submersible, les sols des levées fluvio-deltaïques appelés Foondé qui sont à l'abri des faibles crues, partie non submersible, les sols lourds des cuvettes de décantation appelés Hollaldé pouvant subir une longue période de submersion au moment de la crue et les sols dunaires (Dieri et Ferlo sableux) de texture essentiellement sableuse (Dior) avec un taux d'argile faible de l'ordre de 5 % (Service Régional de la Prévision et de la Statistique de Matam, 2005).

II.3.3.6. Matériel technique

Ce travail a nécessité la reconnaissance et le prélèvement d'échantillons de substances minérales (terres, sable) au niveau du Lac Tanma, d'Alou Kagne, du Lac Rose, de Lompoul et des sites de Matam. Le matériel utilisé est composé :

- d'un GPS pour la détermination des coordonnées géographiques des sites ciblés ;
- d'un marteau et d'une tarière à vase pour creuser et prélever les échantillons de substances inertes repertoriées (sable, terre).

II.3.4. Méthodes

II.3.4.1. Echantillonnage

Pour le lac Tanma, l'échantillonnage a été faite sur le flanc sud-ouest. La localisation géographique des sites d'échantillonnage est représentée sur la figure 16.

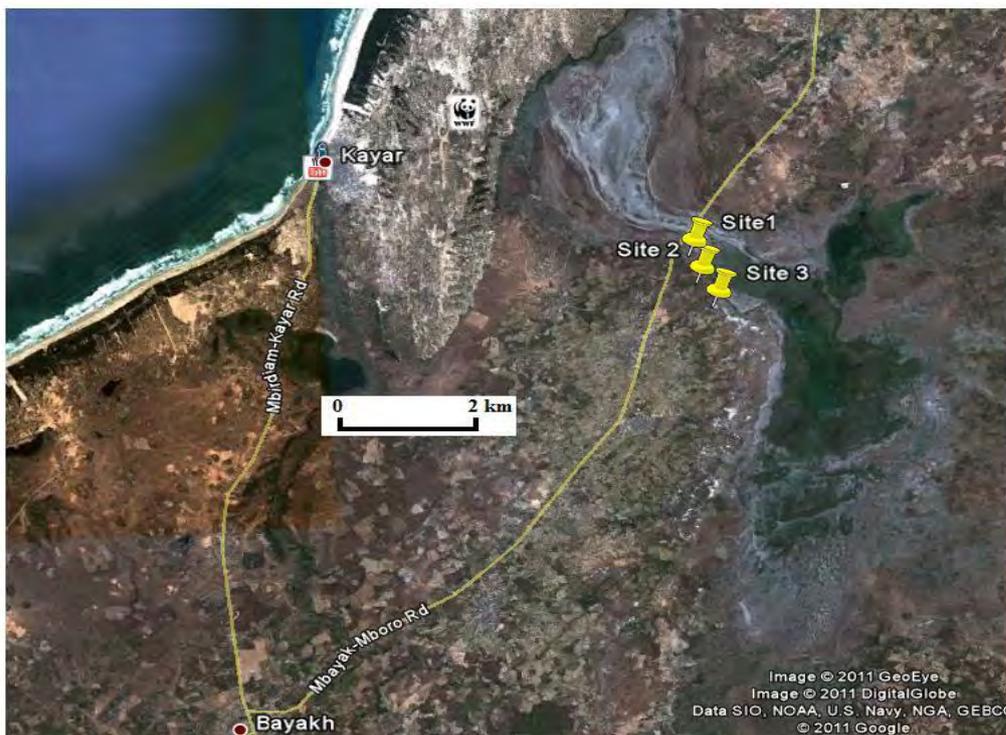


Figure 16: Site d'échantillonnage des substances inertes au niveau du Lac tanma

Les noms des trois sites d'échantillonnage des substances inertes au niveau du Lac Tanma représentés sur le tableau 1.

Tableau 1: Lieu d'échantillonnage de substances inertes du Lac tanma

| Sites | Lieu |
|--------|----------------------------------|
| Site 1 | déblais de puits |
| Site 2 | Petite bute (petit affleurement) |
| Site 3 | Falaise (grand affleurement) |

Des échantillons de sable des dunes blanches et rouges ont été prélevés à Lompoul village, à Lompoul sur mer et au niveau du Lac Rose (Lac Retba).

Au niveau d'Alou Kagne, des échantillons d'argile ont été prélevés au niveau de la zone d'exploitation de la Société sénégalaise des Phosphates (SSPT).

Parmi les pistes indiquées dans cette étude, figurait l'exploration des affleurements d'âge Miocène situés le long du fleuve Sénégal, notamment dans la région administrative de Matam. Cinq affleurements, tous situés dans la région de Matam, ont été ciblés dans cette étude; il s'agit de Kanel, Diobé, Valel, Semmé et Diamounguel (Fig. 17).

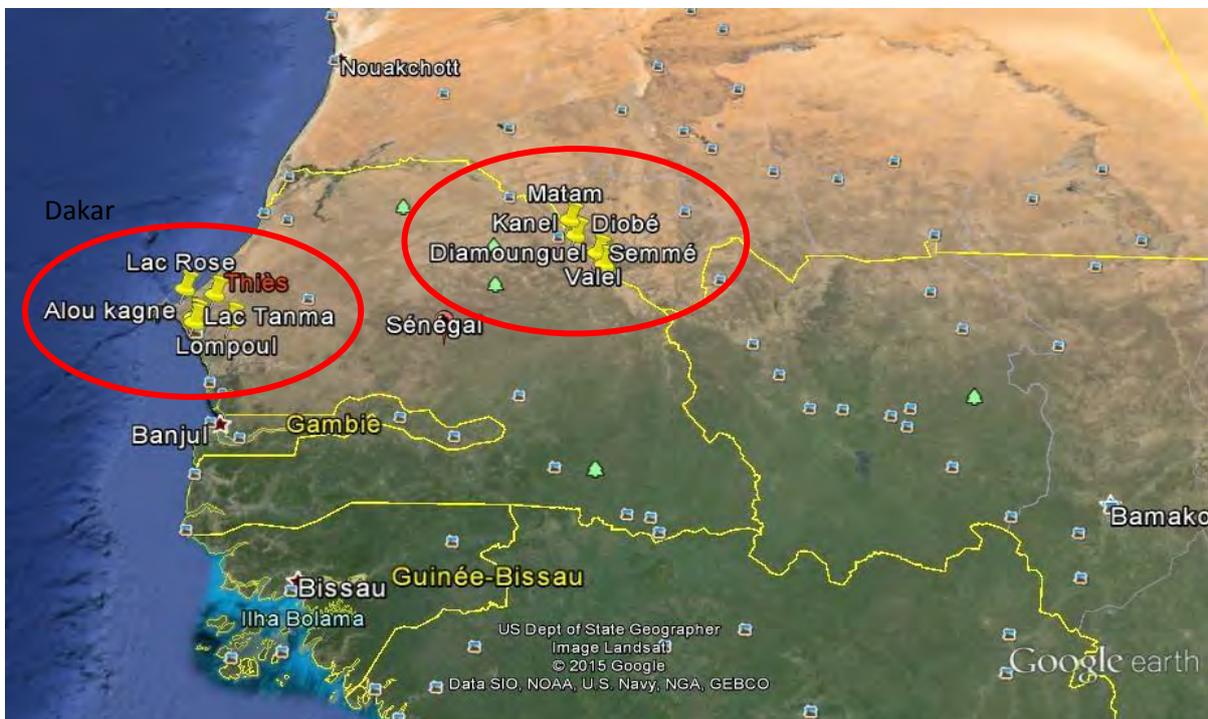


Figure 17 : Sites d'échantillonnage des différentes substances inertes (encadrées en rouge)

Au niveau de chaque site à Matam, les échantillons sont prélevés à la base et au sommet des affleurements. L'exemple est illustré au niveau de la figure ci-dessous.

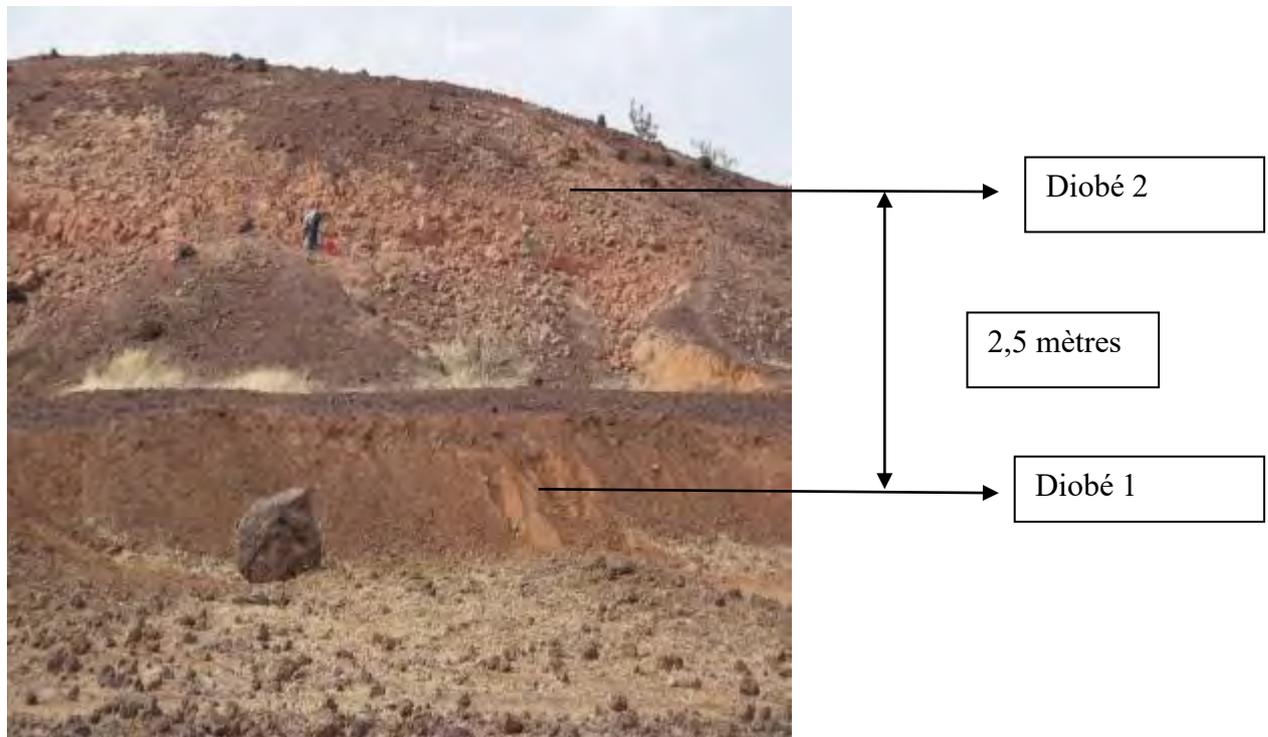


Figure 18: Echantillonnage des substances inertes de Matam

II.3.4.2. Analyses micropaléontologiques et sédimentologiques des échantillons prélevés

Sur chacun des échantillons de substances inertes récoltés, des analyses sédimentologiques et micropaléontologiques (recherche de diatomées) ont été effectuées.

II.3.4.2.1. Analyse sédimentologique

Le but de l'analyse sédimentologique est d'identifier la nature des substances inertes échantillonnées. Cette analyse est faite par la méthode classique consistant à :

- observer le grain (la forme, touché) ;
- évaluer la capacité d'absorption des échantillons de substances inertes dans de l'eau,
- déterminer la densité,
- tester les échantillons de substances inertes avec la langue pour voir s'ils happent la langue.

II.3.4.2.2. Analyse micropaléontologique

Cette analyse consiste à rechercher des diatomées dans les échantillons de substances inertes prélevés. Sur chaque échantillon, deux lames de frottis ont été préparées. Le traitement a été fait selon la méthode classique (Sow et Diène, 2002): légère attaque à chaud à H₂O₂ pour éliminer les traces de matière organique suivie de 3 lavages après une période de décantation de 6 heures; dilution du culot dans 20ml d'eau; montage entre lame et lamelle dans le naphrax d'une quantité de 1 ml de la suspension après agitation.

Les observations ont été faites au microscope optique (DM 2500 LEICA).

II.4. Résultats

II.4.1. Substances inertes échantillonnées

Vingt-trois (23) échantillons de substances inertes ont été recensés dont trois proviennent du lac Tanma, seize (16) de la région de Matam (Diamounguel, Valel, Semmé, Diobé et Kanel) et quatre (04) autres issues d'Alou Kagne, de Lompoul et Lac Rose.

Tableau 2: Nombre d'échantillons de substances inertes prélevées des sites d'étude

| Provenance | Nombre d'échantillons |
|---|-----------------------|
| Lac tanma | 03 |
| Matam (Diamounguel, Valel, Semmé, Diobé et Kanel) | 16 |
| Lompoul | 02 |
| Lac rose | 01 |
| Alou Kagne | 01 |

II.4.2. Caractérisation des échantillons de substances inertes prélevés

Les échantillons de substances inertes de Lac Tanma et Alou Kagne sont constitués de roches tendres à grain très fin et rayables à l'ongle, fragiles à l'état sec, faisant pâte avec l'eau avec une grande capacité d'absorption, et durcissant à la cuisson. Ils happent la langue et leur densité tourne autour de 2,30. Humides, ils sont plastiques et imperméables. Ceux de Matam, Lompoul et Lac Rose sont des grains grossiers rugueuses au touché, ils ne happent pas à la langue, ont une capacité d'absorption très faible et une densité variable. L'ensemble des résultats est consigné dans le tableau ci-dessous.

Tableau 3 : Analyses sédimentologiques des échantillons de substances inertes de Lac Tanma, Alou Kagne, Matam, Lompoul et Lac Rose

| Echantillons | Lac Tanma, Alou Kagne | Matam, Lompoul, Lac Rose |
|-----------------------|---|--|
| Observation du grain | Grain très fin, roche tendre et rayable à l'ongle | Grain grossier, roche rugueuse au touché |
| Test à la langue | Happe la langue | Ne happe pas la langue |
| Capacité d'absorption | Très élevée : 500g absorbent 1l d'eau | Très faible |
| Densité | Environ 2,30 | variable |

Les analyses sédimentologiques ont révélé que les échantillons provenant du Lac Tanma et Alou Kagne contiennent des argiles (attapulgites) et que ceux de Matam, de Lompoul et du Lac Rose sont des sables siliceux (Tab. 5).

Tableau 4: Caractérisation des substances inertes échantillonnées

| Lieu d'échantillonnage | Nature des substances |
|---|------------------------------|
| Lac tanma | Argiles (Attapulgites) |
| Matam (Diamounguel, Valel, Semmé, Diobé et Kanel) | Sables siliceux |
| Lompoul | Sables siliceux |
| Lac rose | Sables siliceux |
| Alou Kagne | Argiles (Attapulgites) |

II.4.3. Recherche de Diatomées

Les analyses micropaléontologiques menées sur les vingt trois échantillons n'ont montré la présence d'aucune diatomée.

II.5. Conclusion

Tout comme les argiles du Lac Tanma et d'Alou Kagne, les sables de Lompoul et du Lac Rose, les sédiments d'âge miocène les moins ferruginisés du Sénégal, localisés dans les régions nord du Sénégal (Saint Louis et Matam), sont dépourvus de diatomées. Ceci peut s'expliquer par leur absence dans le milieu au Miocène ou leur destruction par oxydation au moment de la ferruginisation: les frustules de diatomées étant constitués d'opale (variété amorphe de la silice) facilement dissous en milieu oxydant. Cependant, ces dépôts étant constitués d'argile, de grès et de sables, donc riches en silice, méritent d'être testés sur les différents ravageurs des céréales et légumineuses afin d'évaluer leur efficacité.

CHAPITRE III: CRIBLAGE ET CARACTERISATION PHYSICO-CHIMIQUE DES SUBSTANCES INERTES UTILISEES DANS LA LUTTE CONTRE LES RAVAGEURS DU MAÏS ET DU NIEBE STOCKES AU SENEGAL

III.1. Introduction

Le maïs et le niébé font partie des cultures les plus importantes dans les pays sahéliens et particulièrement au Sénégal. Les récoltes sont conservées par les paysans pendant 7 à 9 mois (Seck et Lienard, 1991). Au cours de cette conservation, les denrées subissent d'énormes dégâts causés par différentes espèces d'insectes. *Sitophilus zeamais* Motsch. et *Callosobruchus maculatus* F. sont respectivement deux ravageurs importants du maïs et du niébé en Afrique subsaharienne. Les dégâts qu'ils occasionnent peuvent causer d'importantes pertes à savoir la réduction du poids des grains, les valeurs nutritive et marchande des grains (Illiassa, 2004; Demissie et al., 2008).

Face à ces pertes post-récolte, la lutte chimique est la méthode la plus utilisée pour éliminer les ravageurs (Diaw, 1999; Ferron, 2004). A cause du coût élevé des produits chimiques et de leurs effets négatifs sur l'environnement et la santé humaine, des méthodes alternatives de contrôle efficaces, peu coûteuses et faciles à adopter pour les producteurs sont préconisées.

L'utilisation de substances inertes (sable, chaux, argile, cendre de bois, etc.), une technique utilisée par les agriculteurs familiaux avant l'avènement des insecticides chimiques, a resurgicomme une alternative intéressante pour le contrôle des insectes nuisibles des denrées stockées (Lorini, 1998). Cette technique est toujours en usage dans les pays en développement surtout au niveau des petites communautés rurales (Stathers et al., 2008). L'utilisation de substances inertes pour la protection des grains stockés a de lointaines origines. Egyptiens, Grecs, Romains et Aztèques (Quarles et Winn, 1996) mélangeaient les grains avec les poudres inertes pour les protéger des attaques d'insectes. Ces poudres minérales de différentes origines mélangées avec des grains stockés endommagent la cuticule de l'insecte, entraînant la mort par déshydratation (Golob, 1997).

Notre étude a pour objectif de faire d'une part un test d'efficacité (screening) de différentes substances inertes provenant de plusieurs localités du Sénégal afin d'en cibler les cinq les plus efficaces contre *S. zeamais* et *C. maculatus*, deux principaux ravageurs du maïs et du niébé et d'autre part de déterminer leurs propriétés physico-chimiques à l'aide de méthodes appropriées.

III.2. Matériel

III.2.1. Matériel végétal

Les grains de maïs et les graines de niébé sont triés pour n'en garder que ceux indemnes d'attaques visibles puis conservés au congélateur pendant une semaine puis transférés dans des sachets en plastique polyéthylène. Ainsi, toute infestation insidieuse est éliminée.

III.2.2. Les insectes

Des adultes de *Sitophilus zeamais* âgés de moins d'une semaine sont utilisés pour les tests sur du maïs ; Pour les tests sur du niébé, des adultes de *Callosobruchus maculatus* âgés de deux jours sont utilisés. Les adultes ont été mis à jeûn pendant 24 h avant le début des tests. Ces souches, depuis leur récolte, sont élevées en permanence au laboratoire sur du maïs et du niébé sains. .

III.2.3. Substances inertes

Les substances inertes testées proviennent du Lac Tanma, du Lac Rose, de Lompoul, d'Alou Kagne et de Matam. Elles sont moulues et tamisées à l'aide d'un tamis de mailles 0,3 mm. Ce qui permet d'obtenir des particules homogènes de diamètre inférieur ou égal à 0,3 mm. Les substances moulues sont conservées dans des sachets en polyéthylène différents et gardés dans les conditions de température et d'humidité du laboratoire (Fig. 19).



Figure 19: Echantillons de substances inertes dans les sachets en plastique polyéthylène (granulométrie inférieure à 0,3mm)

Les codes utilisés pour les différentes substances inertes utilisées dans les tests sont présentés sur le tableau ci-dessous.

Tableau 5: Codes des différents échantillons de substances inertes

| Code | Echantillons et sites de prélèvement |
|------|--------------------------------------|
| T1 | Témoin non traité |
| T2 | Témoin traité à l'actellic |
| T3 | Déblai de sable (lac Tanma) |
| T4 | Petit affleurement (lac Tanma) |
| T5 | Grand affleurement (lac Tanma) |
| T6 | Echantillon 1 Semmé (Matam) |
| T7 | Echantillon 2 Semmé (Matam) |
| T8 | Echantillon 1 Diobé (Matam) |
| T9 | Echantillon 1 Kanel (Matam) |
| T10 | Echantillon 2 Diobé (Matam) |
| T11 | Echantillon 3 Valel (Matam) |
| T12 | Echantillon 1 Diamounguel (Matam) |
| T13 | Echantillon 2 Diamounguel (Matam) |
| T14 | Echantillon 1 Valel (Matam) |
| T15 | Echantillon 2 Valel (Matam) |
| T16 | Echantillon 2 Kanel (Matam) |
| T17 | Echantillon 3 Kanel (Matam) |
| T18 | Echantillon 4 Valel (Matam) |
| T19 | Echantillon 3 Diamounguel (Matam) |
| T20 | Echantillon 4 Diamounguel (Matam) |
| T21 | Echantillon 5 Diamounguel (Matam) |
| T22 | Echantillon Alou Kagne |
| T23 | Echantillon Lompoul Mer |
| T24 | Echantillon Lompoul Est |
| T25 | Echantillon Lac Rose |

III.2.4. Matériel pour analyses physico-chimiques

Le matériel à analyser est composé de substances inertes de Diobé 1 et Diobé 2, d'Alou Kagne et du Lac Tanma 1 et Lac Tanma 2. Un spectromètre à fluorescence par rayons X Alpha 2020 de marque CGR, équipé d'un passeur d'échantillons à six positions, un mortier à agate et un appareil de type D8-Advance Bruker équipé d'un tube à rayons X avec anticathode de cuivre sont utilisés pour effectuer les analyses physico-chimiques.

III.3. Méthodes

III.3.1. Efficacité des différentes substances inertes contre *S. zeamais* et *C. maculatus*

L'expérience consiste à infester 250 g de grains de maïs ou de niébé contenus dans des pots en verre selon le cas par 20 adultes de *S. zeamais* ou de *C. maculatus* non sexés. Auparavant, les grains sont mélangés avec 2 g de poudre de chaque substance inerte. Afin d'assurer une répartition homogène de la poudre dans les grains, les pots sont agités manuellement pendant 2 à 3 minutes puis stabilisés pendant 8 à 10 mn, le temps que toutes les particules se déposent. Chaque traitement est répété 4 fois. Quatre (4) pots infestés de la même manière mais non traités serviront de témoins et 4 autres traités à l'actellic, un insecticide chimique serviront de témoins traités. Ce dernier est appliqué à la dose recommandée de 50 g d'actellic/100kg de maïs ou de niébé, c'est-à-dire 0,125 g d'actellic /250 g de maïs ou de niébé.

Afin d'estimer l'efficacité des différents traitements, toutes les 24 heures les insectes morts sont retirés des pots puis comptés. Le suivi est fait sur 14 jours.

Le dispositif expérimental proprement dit se présente comme suit:

Traitement T1 : Témoin non traité

Traitement T2: Témoin avec traitement insecticide Actellic

Traitement T3 à T25: 2 g de chaque substance inerte (voir les points de code des substances inertes ci-dessous).

Les résultats sont évalués statistiquement après une ANOVA sur XL STAT. Le test de Fischer permet de ressortir les différences entre traitements. La formule d'Abbott (Abbott, 1925) a été utilisée pour corriger la mortalité du témoin non traité avant l'application de l'ANOVA.

III.3.2. Analyses physico-chimiques des cinq substances inertes retenues

III.3.2.1. Analyses par fluorescence X

III.3.2.1.1. Principe de l'analyse

La spectrométrie de fluorescence X (SFX ou FX, ou en anglais XRF pour X-ray fluorescence) est une méthode d'analyse chimique élémentaire utilisant une propriété physique de la matière, la fluorescence de rayons X. Lorsque l'on bombarde de la matière avec des rayons X, la matière réémet de l'énergie sous la forme, entre autres, de rayons X; c'est la fluorescence X, ou émission secondaire de rayons X. Le spectre des rayons X émis par la matière est

caractéristique de la composition de l'échantillon. En analysant ce spectre, on peut en déduire la composition élémentaire, c'est-à-dire les concentrations massiques en éléments.

La méthode utilisée pour le dosage des éléments majeurs est largement inspirée de celle de Norrish et Hutton (1969) dans laquelle l'échantillon est préalablement dissout dans un verre borate alourdi par du lanthane puis coule sous forme d'une pastille. Tous les éléments majeurs, excepte le sodium, sont dosés sur cette pastille. Une deuxième pastille faite de poudre simplement compactée sert au dosage du Na et des éléments en trace.

III.3.2.1.2. Préparation de l'échantillon

L'échantillon est d'abord calciné à 950°C et la perte au feu est déterminée. Ensuite une partie de la substance inerte calcinée cinq fois est ajoutée à la quantité de Spectroflux n° 105 de Johnson Matthey Chemicals Limited, dont la composition est: 47 % de tetraborate de Li, 36,7 % de carbonate de Li et de 16.3 % de La_2O_3 (oxyde de lanthane). Après le temps requis pour la dissolution du mélange, le liquide est coulé dans une lingotière en Pt à 5 % au (modèle STD 73238 de Johnson, Matthey) et la pastille est obtenue (Bologne et Duchesne, 1991). Pour la pastille de poudre, 7 g d'échantillon de la substance inerte broyée sont mélangés avec quelques gouttes de lucite dissoute dans de l'acétone et après évaporation, le tout est compacté dans un moule à une pression de 12 T/cm².

III.3.2.1.3. Dosage des éléments majeurs

Les éléments majeurs sont excités avec un tube au Rh sous 50 kV et 50 mA et mesures sur les raies les plus intenses correspondant aux K α . Il a été utilisé des fentes de Soller primaires de 500 μ et un compteur proportionnel à flux gazeux (Ar-méthane). Les cristaux suivants sont utilisés: PET (Si, Al), Ge (Fe, Ti, Ca, K, P), LiF220 (Mn), TPB (Mg) et TlAP (Na); les temps de comptage sont: 40 sec (Si, P), 25 sec (Al), 15 sec (Fe, Ti, Ca, K, Mn) et 50 sec (Mg, Na).

III.3.2.2. Analyses par diffraction aux rayons X

La composition minéralogique du sédiment total a été analysée par diffraction des rayons X sur une poudre non orientée. Les estimations qualitatives et semi-quantitatives sont basées sur la mesure de l'intensité de pics caractéristiques mesurés sur des diagrammes de rayons X.

III.3.2.2.1. Minéralogie totale

Pour chaque échantillon de substance inerte, une aliquote de l'ordre de quelques grammes de sédiment total est prélevée. L'échantillon est broyé manuellement au mortier à agate et tamisé à sec à 250 microns. La poudre est placée dans un porte-échantillon par simple pression afin de limiter toute orientation préférentielle des minéraux selon la méthode de Moore et Reynolds (1989). Le spectre de diffraction est enregistré pour des angles de diffraction compris entre 2 à 30°. L'estimation semi-quantitative est obtenue en appliquant à l'intensité mesurée un facteur correctif multiplicatif déterminé par Cook *et al.* (1975) et modifié par Boski *et al.* (1998). Les facteurs correctifs suivants ont été appliqués:

| | | |
|----------------|-----------|--------------------------------------|
| Argile totale | FC = 20 | appliqué à la réflexion d=4.47Å |
| Quartz | FC = 1 | appliqué à la réflexion d=3.34Å |
| Feldspath-K | FC = 4.3 | appliqué à la réflexion d=3.21-3.26Å |
| Calcite | FC = 1.65 | appliqué à la réflexion d=3.0-3.02Å |
| Mica/Muscovite | FC = 6 | appliqué à la réflexion d=10Å |
| Gypse | FC = 0.4 | appliqué à la réflexion d=7.5-7.8Å |
| Chlorite | FC = 4.95 | appliqué à la réflexion d=4.7Å |
| Pyrite | FC = 2.7 | appliqué à la réflexion d=2.70Å |

Les intensités corrigées sont sommées et le pourcentage relatif de chaque minéral est calculé par rapport à une somme ramenée à 100%. Un minéral est présent en trace si le % calculé est inférieur à 2 %. L'erreur est de l'ordre de 10 %, voire davantage pour les minéraux en faible abondance.

III.3.2.2.2. Fraction argileuse

La recherche de la fraction argileuse des substances inertes consiste à orienter les particules argileuses afin de renforcer leur réflexion principale. Une fraction de l'échantillon de substance inerte brute est broyée manuellement, mise en suspension dans de l'eau distillée et tamisée à 63 microns. La fraction argileuse (i.e., < 2 microns), prélevée par pipette après un temps de sédimentation calculé selon la loi de Stokes, est déposée sur une lamelle de verre (méthode de Moore and Reynolds, 1989). Après séchage à l'air, l'agrégat orienté ainsi obtenu est soumis à la diffraction des rayons X (D8-Advance, Bruker). Cette analyse donne l'énergie du faisceau diffracté par les particules minérales selon l'angle de balayage (de 2 à 30°). Dans un mélange argileux naturel, le spectre de diffraction enregistre différents pics correspondants aux réflexions des différentes espèces argileuses présentes, selon la loi de Bragg ($n = 2d \sin\theta$).

Une même famille argileuse donnant plusieurs pics, il est nécessaire d'enregistrer en plus du spectre dans les conditions normales, un spectre après solvation (Ethylène-Glycol, 24h) et un spectre après chauffage (500°C, 4h). La comparaison des 3 spectres obtenus sur la même préparation argileuse permet d'identifier les minéraux argileux. L'illite se caractérise par une réflexion à 10Å, elle est insensible à la solvation ou au chauffage. La chlorite présente un pic à 14Å, inchangé sur les 3 spectres. Les minéraux de la famille des smectites sont sensibles à la solvation, on observe une expansion de la réflexion à 15Å vers 17Å. Après chauffage, les smectites se rétractent à 10Å. La kaolinite présente une réflexion à 7Å, réflexion qui disparaît après chauffage (Thorez, 1976; Moore and Reynolds, 1989).

L'estimation semi-quantitative (± 5 à 10%, Biscaye, 1965) des principales espèces argileuses est basée sur la mesure de la hauteur des réflexions caractéristiques de chaque espèce argileuse, généralement mesurées sur le spectre après solvation. Les intensités mesurées sont corrigées par un facteur correctif pour tenir compte de la diminution de l'énergie reçue par le détecteur en fonction de l'angle de balayage croissant et de l'état de cristallinité des minéraux. Les intensités sont multipliées par un facteur correctif établi empiriquement au laboratoire (1 pour illite et smectites, 0,34 pour chlorite et interstratifiés irréguliers illite-chlorite (10-14c), 0.7 pour kaolinite (J. Thorez, comm. pers.) et les valeurs sont sommées à 100% (Fagel *et al.*, 2003).

III.4. Résultats

III.4.1. Efficacité des différentes substances inertes sur la mortalité de *S. zeamais* et *C. maculatus*

III.4.1.1. Efficacité des différentes substances inertes sur la mortalité de *S. zeamais*

La figure 20 présente les effets des différentes substances inertes sur la mortalité de *S. zeamais*. Aucune mortalité n'est enregistrée au niveau du témoin non traité (T1) durant les quatorze jours. Le traitement à l'actellic induit 100 % de mortalité. Il est statistiquement différent des traitements aux substances inertes. La substance inerte T22 avec 61,9 % de mortalité est plus efficace que tous les autres traitements. Mais statistiquement, elle a la même efficacité que les substances inertes T4, T5, T8, T10, T16, T17. Ces différentes substances inertes causent plus de mortalité et sont statistiquement différentes (plus efficaces) des substances inertes T3, T6, T7, T9, T11, T12, T13, T14, T15, T18, T19, T20, T21, T23, T24 et T25.

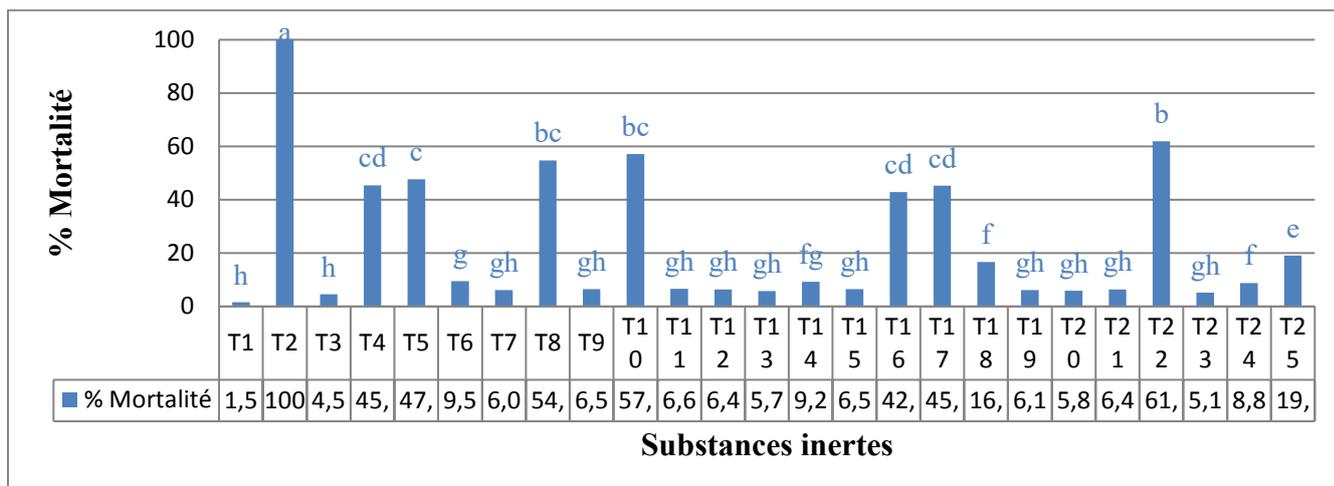


Figure 20: Effets des différentes substances inertes sur la mortalité de *S. zeamais*

III.4.1.2. Efficacité des différentes substances inertes contre *C. maculatus*

La figure 21 présente les effets des différentes substances inertes sur la mortalité de *C. maculatus*. Aucune mortalité n'est enregistrée au niveau du témoin non traité (T1) durant les quatorze jours. Le traitement à l'actellic induit 100 % de mortalité. Il est statistiquement différent de tous les traitements aux substances inertes. La substance inerte T22 provoque 81 % de mortalité de *C. maculatus* et est statistiquement plus efficace que toutes les autres substances inertes. Les substances inertes T4, T5, T8, T10, T16, T17 causent plus de mortalité et sont statistiquement différentes (plus efficaces) des substances inertes T3, T6, T7, T9, T11, T12, T13, T14, T15, T18, T19, T20, T21, T23, T24 et T25.

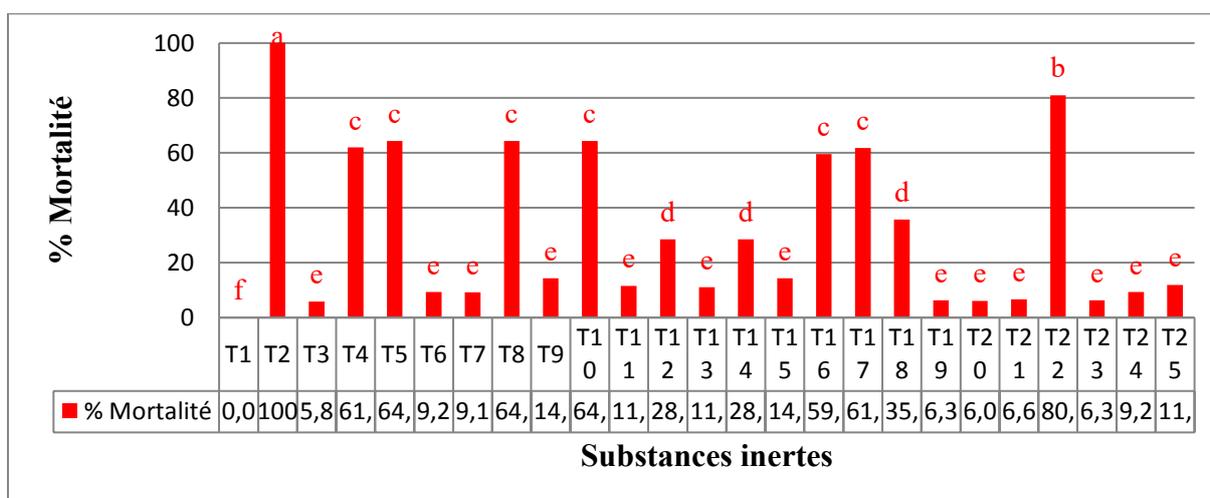


Figure 21: Effets des différentes substances inertes sur la mortalité de *C. maculatus*

Au vue des différents résultats, la substance inerte T4, malgré qu'elle ne soit pas statistiquement différente des substances inertes T16 et T17, causent plus de mortalité que ces dernières quelque soit l'insecte.

Le tableau 6 présente les cinq substances inertes les plus efficaces. Alou Kagne, Diobé 1, Diobé 2, Lac tanma 1 et Lac tanma 2 sont les cinq substances inertes les plus efficaces. Elles sont comparées à l'actellic qui est l'insecticide de synthèse de référence.

Tableau 6: Cinq substances inertes les plus efficaces après le test d'efficacité sur 14 jours

| Traitements | Mortalité (%) | | Sites (Provenance) |
|-------------|-------------------|---------------------|--|
| | <i>S. zeamais</i> | <i>C. maculatus</i> | |
| T22 | 61,9 | 81 | Alou Kagne (Thiès) |
| T10 | 57,1 | 64,3 | Diobé 1 (Matam) |
| T8 | 54,8 | 64,3 | Diobé 2 (Matam) |
| T5 | 47,6 | 64,3 | Grand affleurement Lac Tanma 1 (Dakar) |
| T4 | 45,4 | 61,9 | Petit affleurement Lac Tanma 2 (Dakar) |

III.4.2. Analyses par fluorescence X

Le tableau 7 présente la composition chimique des différentes substances inertes de Diobé 1, Diobé 2, Alou Kagne, Lac Tanma 1 et Lac Tanma 2 par fluorescence X. Il ressort de ce tableau la nature essentiellement siliceuse des substances inertes avec des teneurs modérées en alumine, oxydes de fer, oxyde de magnésium et oxyde de calcium. A noter toutefois des différences parfois importantes entre les cinq substances inertes notamment pour la silice, l'alumine, le calcium et les alcalins (Na et K). La teneur en silice varie selon les substances inertes de 31,7 à 75 %. Les substances inertes de Diobé 2 sont plus riches avec une teneur de 75,4 % et celles du Lac Tanma 1 sont les moins riches avec 31,7 %. La teneur en oxyde de fer est élevée pour la substance inerte Diobé 1, ce qui est en conformité avec sa couleur rouge par rapport aux autres substances inertes. Alou Kagne, Lac tanma1 et Lac tanma2 ont des teneurs en MgO et CaO élevées par rapport à Diobé 1 et Diobé 2 où elles sont nulles ou parfois sous forme de traces. Les teneurs en oxydes de manganèse sont inférieures à 1% par contre les substances inertes Diobé 1 et Diobé 2 sont plus riches en oxydes d'alumine que celles d'Alou kagne, du Lac tanma 1 et Lac tanma 2. La forte teneur en perte au feu (LOI) est élevée pour Alou Kagne, Lac tanma 1 et Lac tanma 2 par rapport à celles de Diobé 1 et Diobé 2.

Cette perte, correspond à la perte de masse d'une poudre portée à 1000°C, elle est due à l'élimination des carbonates élevés au niveau de ces trois substances inertes.

Tableau 7 : Composition chimique des différentes substances inertes de Diobé, Lac Tanmaet Alou Kagne par fluorescence X

| % pds. | Diobé1 | Diobé 2 | Lac Tanma 1 | Lac Tanma 2 | Alou Kagne |
|------------------------------------|---------------|----------------|--------------------|--------------------|-------------------|
| SiO₂ | 52,19 | 75,47 | 31,65 | 44,70 | 36,56 |
| TiO₂ | 0,70 | 1,35 | 0,13 | 0,34 | 0,13 |
| Al₂O₃ | 27,79 | 12,82 | 3,20 | 6,10 | 3,36 |
| Fe₂O₃ | 4,17 | 0,67 | 1,57 | 2,62 | 1,68 |
| MnO | 0,01 | 0,00 | 0,01 | 0,02 | 0,01 |
| MgO | 0,00 | 0,00 | 10,24 | 10,31 | 10,51 |
| CaO | 0,11 | 0,16 | 20,64 | 10,05 | 18,76 |
| Na₂O | 0,00 | 0,00 | 0,19 | 0,00 | 0,00 |
| K₂O | 0,09 | 0,01 | 0,22 | 0,58 | 0,18 |
| P₂O₅ | 0,27 | 0,02 | 0,28 | 0,63 | 0,24 |
| LOI | 12,11 | 7,70 | 32,07 | 24,91 | 28,82 |
| SOMME | 97,44 | 98,20 | 100,21 | 100,26 | 100,26 |
| Zr | 0,1 | 0,2 | | | |
| Cl | | 0,1 | | | |
| Sr | 0,3 | | | | |
| Ce | 0,1 | | | | |
| S | 0,1 | | | | |
| La | 0,1 | | | | |
| Total | 98,14 | 98,50 | 100,21 | 100,26 | 100,26 |

III.4.3. Analyses par diffraction aux rayons X

Trois (03) essais ont été effectués:

- séché à air libre – essai naturel en noir;
- saturé avec solvant organique – essai EG en bleu pour voir minéraux gonflants;
- chauffé 4h à 500°C, essai chauffé en rouge pour voir déstructuration kaolinite par rapport aux chlorites insensibles au chauffage.

Les échantillons ont été analysés après décarbonatation, il s'agit de l'analyse de la fraction fine < 2 microns avec un appareil de diffraction muni d'un détecteur plus sensible.

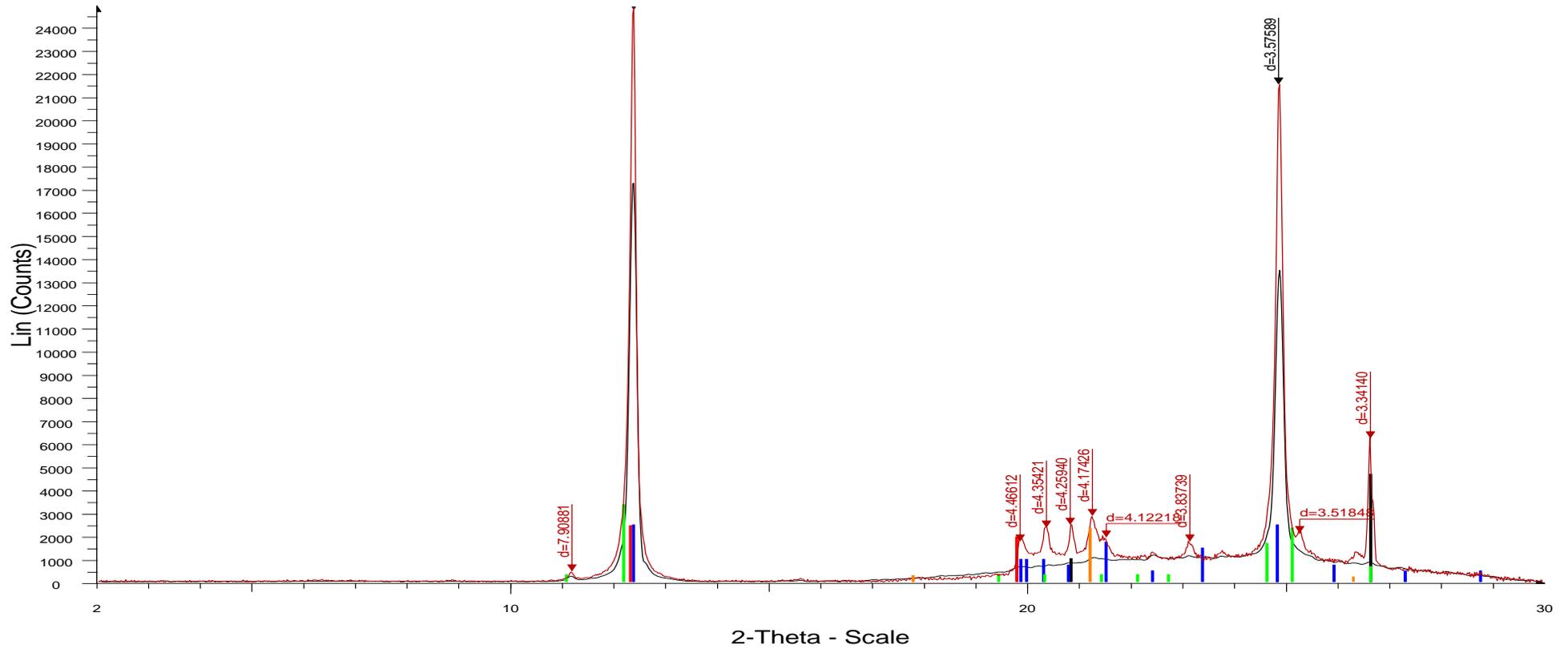
La comparaison entre la fraction argileuse (< 2microns) et totale (<63 microns) pour Diobé 1 (Matam 1) et Diobé 2 (Matam 2) a été faite, vu que la lame est peu chargée en matière argileuse.

Les figures (21, 22, 23, 24 et 25) ci-dessous présentent les diffractogrammes des poudres de substances inertes de Diobé 1, Diobé 2, Lac Tanma 1, Lac Tanma 2 et Alou Kagne. La fraction «totale» (< 63 microns) de la substance inerte Diobé 1 est composée de kaolinite, de quartz, de goethite (oxydes de fer), de dickite et des oxydes de manganèse (stiplomelane). La fraction argileuse (< 2 microns) est composée de 100% kaolinite vu que l'essai saturé avec le solvant organique – essai EG en bleu pour voir les minéraux gonflants disparaît mais lorsque l'échantillon est chauffé 4h à 500°C, la kaolinite résiste par contre les autres constituants disparaissent (Fig. 21).

La substance inerte Diobé 2 dans sa fraction «totale» (< 63 microns) est constituée de Kaolinite, de quartz, de microcline (probablement de feldspaths potassiques). Sa fraction argileuse (< 2 microns) est composée à 100% de kaolinite vu que l'essai saturé avec solvant organique – essai EG en bleu pour voir minéraux gonflants disparaît mais lorsque l'échantillon est chauffé 4h à 500°C, la kaolinite résiste par contre les autres constituants disparaissent (Fig. 22).

Après décarbonatation puis analyse aux rayons X, la fraction argileuse (< 2 microns) du Lac tanma1 qui est une fraction argileuse très pure est composée de palygorskite, sépiolite et de feldspaths potassiques. La palygorskite qui est une variété d'attapulgite est le constituant argileux dominant, car on la retrouve presque à tous les pics lors des trois essais (Fig. 23) ; tandis que la fraction argileuse (< 2 microns) de Lac Tanma2 est constituée de la palygorskite qui est dominante, de la sépiolite, des smectites, du quartz et des feldspaths potassiques (Fig. 24). La fraction argileuse (< 2 microns) de la substance inerte d'Alou Kagne contient de la palygorskite qui est dominante, la sépiolite, des smectites (montmorillonite), quartz, cristobalite qui est un minéral composé de dioxyde de silicium, feldspath potassiques et des traces de calcite malgré que l'échantillon ait été décarbonaté avant l'analyse (Fig. 25).

Matami 1 2 et 63 microns



- ▣ MatamiN1 - File: MatamiN1.raw - Type: Locked Coupled - Start: 2.000 ° - End: 29.997 ° - Step: 0.0

▣ 00-015-0048 (Q) - Stilpnomelane, manganon - (Fe,Mn,Mg)3(Si,Al)4O10(OH)4·H2O - Y: 13.54 % -
- Operations: Smooth 0.100 | Enh. Background 0.000,0.000 | Smooth 0.100 | Import
- ▣ MatamiN1 63 - File: MatamiN1_63.raw - Type: Locked Coupled - Start: 2.000 ° - End: 29.997 ° - Ste
- Operations: Enh. Background 0.000,0.000 | Import
- ▣ 00-033-1161 (*) - Quartz, syn - SiO2 - Y: 18.80 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - I/c PDF 3
- ▣ 00-006-0221 (D) - Kaolinite 1Md - Al2Si2O5(OH)4 - Y: 9.85 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclini
- ▣ 00-029-0713 (l) - Goethite - FeO(OH) - Y: 9.39 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Orthorhombic -
- ▣ 00-010-0446 (l) - Dickite-2M1 - Al2Si2O5(OH)4 - Y: 9.97 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic -

Figure 22: Analyse de la fraction totale et argileuse de la poudre décarbonatée de la substance inerte Diobé 1

MatamiN2

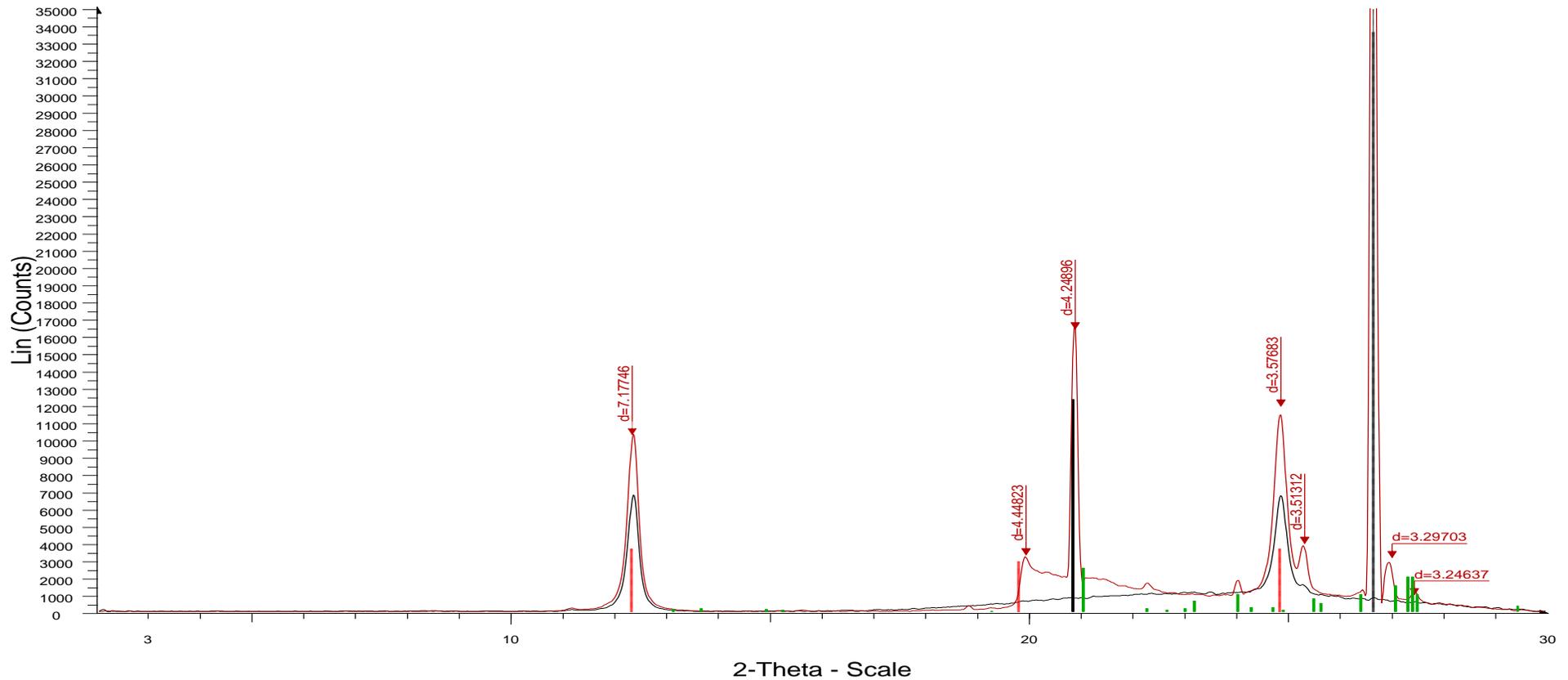


Figure 23: Analyse de la fraction totale et argileuse de la poudre décarbonatée de la substance inerte Diobé 2

TanmaN3

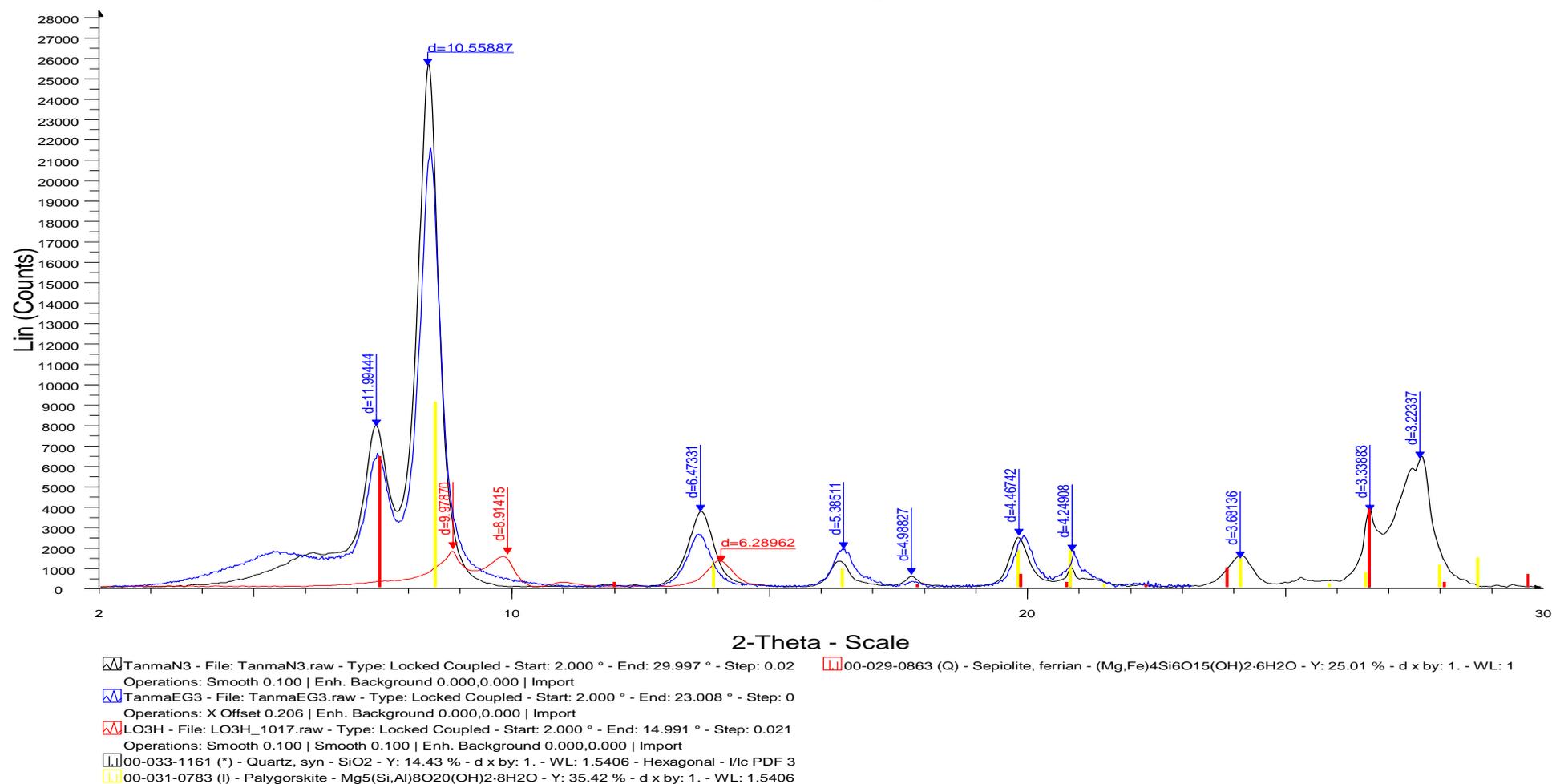


Figure 24: Analyse de la fraction argileuse de la poudre décarbonatée de la substance inerte Lac Tanma 1

TanmaN4

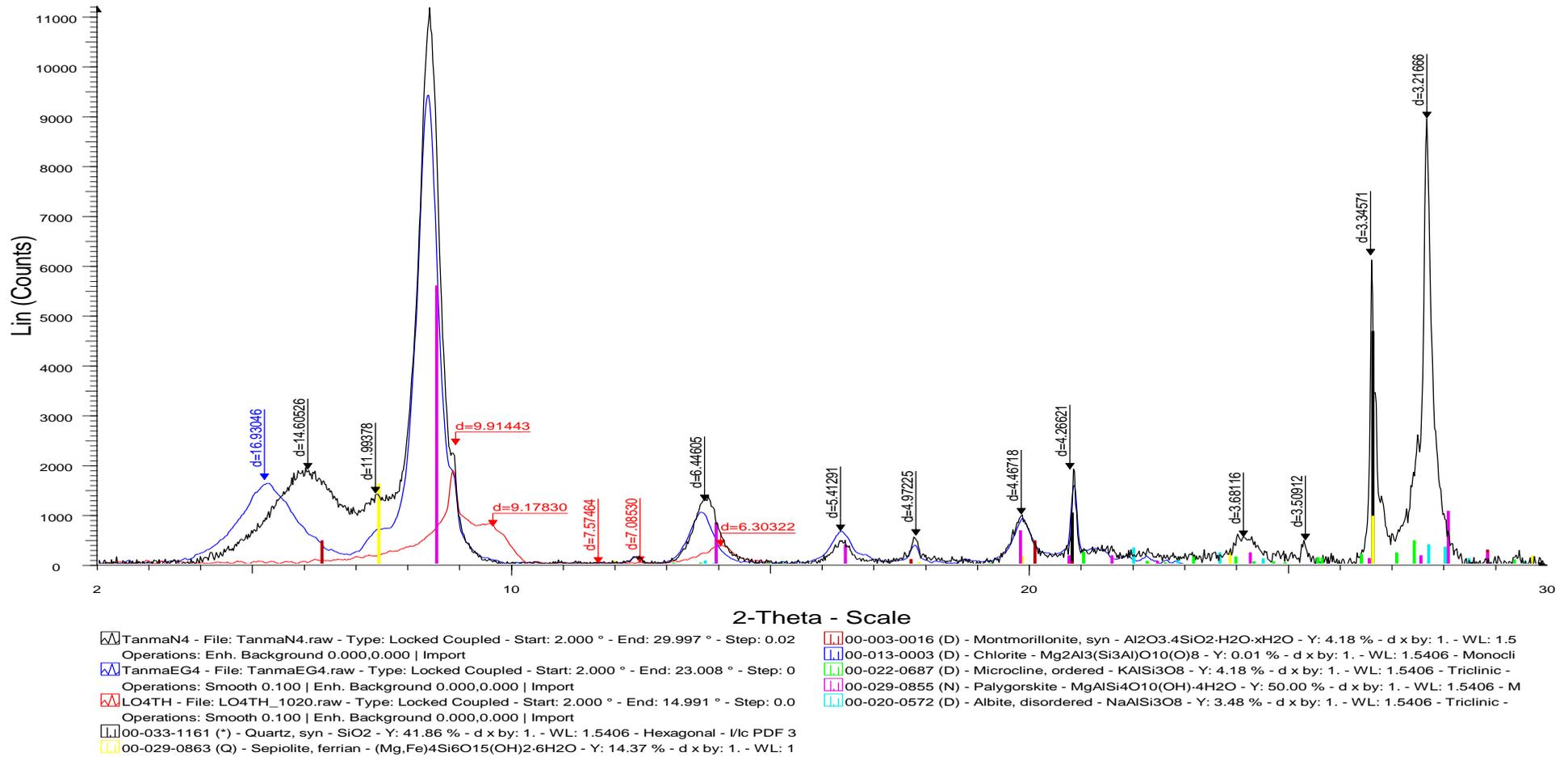


Figure 25: Analyse de la fraction argileuse de la poudre décarbonatée de la substance inerte Lac Tanma 2

AlouN5

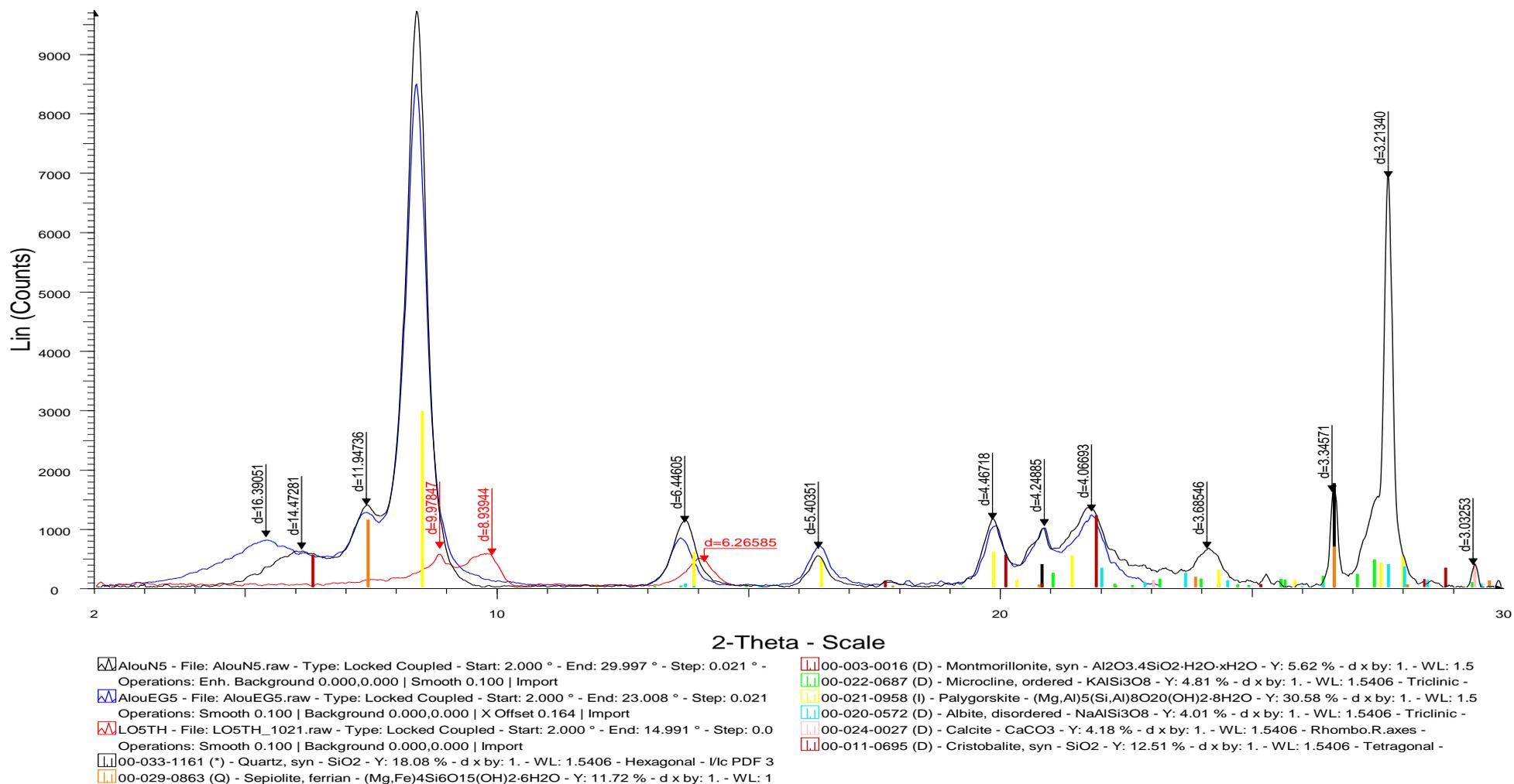


Figure 26: Analyse de la fraction argileuse de la poudre décarbonatée de la substance inerte Alou kagne

Le tableau 8 présente le récapitulatif des différents minéraux qui constituent les différentes substances inertes obtenues par diffraction aux rayons X.

Tableau 8: Analyses par diffraction aux Rayons X des différentes substances inertes

| Substances inertes | Diobé 1 | Diobé 2 | Lac Tanma1 | Lac Tanma2 | Alou Kagne |
|--|--|--|---|---|--|
| Fraction totale (< 60 microns) | Kaolinite + quartz, goethite (oxides de fer) + oxydes de Mn (stiplomelane) | Kaolinite + quartz + probablement feldspaths potassiques | | | |
| Fraction argileuse (< 2 microns) | 100% kaolinite | 100% kaolinite | palygorskite et sépiolite + feldspath potassiques | palygorskite dominante + sépiolite + smectites + quartz + feldspath potassiques | palygorskite + sépiolite+ smectites + quartz + cristobalite + feldspath potassiques + trace de calcite |

III.5. Discussion

Les résultats de cette étude ont permis de déterminer sur vingt trois substances inertes, les cinq les plus efficaces contre *S. zeamais* et *C. maculatus*. Les mortalités varient en fonction des sources géologiques et de la composition physico-chimique des substances inertes, du substrat et de l'insecte. *C. maculatus* apparaît plus sensible aux substances inertes que *S. zeamais*. D'après Mewis et Ulrichs (2001), la sensibilité des insectes à la terre à diatomées dépend de leur structure morphologique et de leur physiologie. La mortalité serait due à la teneur en éléments contenus dans les substances inertes. Diobé 1 et 2, Alou Kagne et Lac Tanma 1 et 2 contiennent chacune plus de 30 % de dioxyde de silice. Dans le cas des substances inertes en général, le principe actif serait l'oxyde de silice (SiO₂) qui est l'élément principal des minéraux les constituant. Ce dernier exerce un effet abrasif à travers leurs frottements avec la cuticule de l'insecte en plus elles adsorbent les lipides épicuticulaires conduisant à la mort de l'insecte par dessiccation (Korunic, 1998; Vayias *et al.*, 2008 ; Kabir, 2013). D'après une étude de Riyad et Salem (2006) qui consistait à tester quatre poussières inertes (nininivite, kaolinite, montmorillonite et bentonite) sur quelques insectes ravageurs des

stocks de blé, la ninivite s'est montrée plus efficace car possédant une teneur en silice (SiO_2) de 94,60 % contrairement aux autres poussières inertes. Les substances inertes d'Alou Kagne, de Diobé et de Lac Tanma sont constituées de minéraux argileux tels que la kaolinite, la palygorskite, la sépiolite, les smectites, le quartz, la sépiolite, la cristobalite qui joueraient aussi un rôle absorbant et abrasif sur la cuticule des insectes. Selon De Luca (1983), les silicates argileux complexes tels : sépiolite, palygorskite, montmorillonite, bentonite, quartz, cristobalite fines jouent deux rôles à savoir absorbant et abrasif sur la cuticule des insectes.

Les différentes substances inertes n'ont pas montré la même efficacité. Ce qui conforte les travaux de Korunic (1998) pour qui l'efficacité insecticide de la terre à diatomées et autres substances inertes peut varier dans des limites assez larges selon l'origine car toutes n'ont pas la même composition physico-chimique. La substance inerte Alou Kagne a montré des taux de mortalité bien meilleurs sur *S. zeamais* et *C. maculatus* en quatorze jours d'exposition que les quatre autres substances inertes. La substance inerte Alou Kagne possède plus de minéraux argileux que les substances inertes de Diobé et de Lac Tanma après analyse par diffraction aux rayons X. Ces constituants lui permettraient de provoquer une perte en eau beaucoup plus rapide que les autres substances inertes, suivie par la mort des insectes. Selon La Hue (1970) puis Mc Laughlin (1994), les aérogels de silice provoquent des mortalités plus lourdes que les terres à diatomées parce qu'ils provoquent une perte en eau beaucoup plus rapide que ces dernières.

Les analyses par diffraction aux rayons X montrent que Diobé 1 et Diobé 2 sont constitués à 100 % de kaolinite à la fraction argileuse (< 2 microns), c'est une argile dont le feuillet comporte deux couches: une de silice, l'autre d'alumine; ce que confirment les analyses quantitatives par fluorescence X où la silice et l'alumine sont les constituants majeurs de ces substances. La fraction «totale» (< 63 microns) de Diobé 1 et Diobé 2 montrent qu'ils sont constitués d'autres minéraux en plus de la kaolinite; il s'agit donc des sables siliceux. Selon Noury (2015), l'échelle de Wentworth montre que les sables sont des grains moyens dont le diamètre est compris entre 0,2 micron (2 mm) et 63 microns (0,63 mm). Les substances inertes d'Alou Kagne, de Lac tanma1 et Lac tanma2 sont des attapulgites constituées en majorité de palygorskite (variété d'attapulgite), conformément à nos résultats du chapitre précédent. Alou Kagne est constitué non seulement de palygorskite mais aussi d'autres minéraux argileux tels la sépiolite. Ce résultat corrobore les travaux antérieurement menés par Garcia-romero *et al.* (2007) qui ont montré que le dépôt argileux d'Alou Kagne se compose de différentes proportions de palygorskite et sépiolite.

III.6. Conclusion

Cette étude nous a permis de recenser les cinq substances inertes les plus efficaces qui sont Alou Kagne, Diobé 1, Diobé 2, Lac tanma 1 et Lac tanma 2 à partir d'une vingtaine de substances. Selon l'analyse par fluorescence X qui permet la détermination de la composition élémentaire, la silice est le principal élément des minéraux qui constitue les cinq substances inertes. L'analyse par diffraction aux rayons X nous a permis de connaître les minéraux qui constituent ces substances inertes et leur nature. Diobé 1 et Diobé 2 sont des sables riches en silice tandis que celles de Lac Tanma 1, Lac Tanma 2 et Alou Kagne sont des attapulgites. Pour une étude plus approfondie, ces cinq substances inertes seront par la suite testées sur trois ravageurs du maïs stocké à savoir *S. zeamais* et *Prostephanus truncatus* qui sont des ravageurs primaires, *Tribolium castaneum* un ravageur secondaire et un ravageur du niébé *C. maculatus* à des doses et granulométries différentes. Pour ce faire, les émergences, dégâts et pertes seront évalués au bout d'un, trois et six mois après 14 jours de suivi de la mortalité.

CHAPITRE IV: ETUDE DE L'EFFICACITE DE SUBSTANCES INERTES DANS LA LUTTE CONTRE LES INSECTES RAVAGEURS DU MAÏS ET DU NIEBE STOCKES

IV.1. Introduction

Le maïs, *Zea mays*, est une importante denrée pour le continent africain et surtout pour les pays du Sahel. Le niébé, *Vigna unguiculata*, figure aussi parmi les principales légumineuses cultivées dans ces zones où il constitue une source importante de protéines ; la plante est aussi très résistante à la sécheresse (Ndong *et al.*, 2012). Selon Guèye *et al.* (2011), les dégâts causés par les insectes constituent l'un des obstacles majeurs qui empêchent l'accroissement de la production agricole ainsi que sa conservation. La bruche du niébé, *Callosobruchus maculatus* et le grand capucin du maïs, *Prostephanus truncatus* peuvent provoquer une perte pouvant être totale au bout de trois à six mois si la conservation n'est pas adéquate (Amevoin *et al.*, 2007; Guèye *et al.*, 2012).

Pour faire face à ces nuisibles, les pesticides de synthèse sont largement utilisés. Ces produits chimiques, malgré leur efficacité font des ravages en Afrique du fait de leur méconnaissance par les populations (Guèye, 2012). A cela s'ajoutent la découverte d'effets carcinogènes, la pollution des eaux et de l'environnement (World Health Organization, 2008), la résistance des insectes, le coût et la disponibilité de ces produits, entre autres. Pour une meilleure gestion de la qualité des produits alimentaires dans le respect de l'environnement, la recherche de méthodes alternatives se développe de plus en plus (Guèye, 2012). Les méthodes de lutte traditionnelles telles que l'utilisation de substances inertes refont surface et se positionnent comme substituts aux produits chimiques. Certains minéraux comme le sable fin, la chaux, la cendre, l'argile et certains kaolins sont utilisés pour protéger le grain stocké contre les insectes. Mélangés au grain battu, les minéraux remplissent l'espace intergranulaire et empêchent le mouvement et la propagation des insectes à l'intérieur du grain stocké (De Groot, 2004). Les insectes ont plus de mal à trouver des partenaires et sont obligés de déposer leurs œufs sur une quantité relativement petite de graines. Les minéraux ont d'autres effets également utiles : le sable gratte la cuticule des insectes. Une cuticule abîmée ne protège plus l'insecte contre la perte d'eau. L'insecte ne peut pas remplacer l'eau perdue et se dessèche. Le remplissage de l'espace intergranulaire avec un matériau fin est une méthode traditionnelle pour éliminer l'oxygène (De Groot, 2004).

L'objectif général de ce travail est de tester l'efficacité de cinq substances inertes contre quatre insectes à savoir *Sitophilus zeamais* (Motschulsky), *Callosobruchus maculatus*

(Fabricius), *Tribolium castaneum* (Herbst) et *Prostephanus truncatus* (Horn), dans la conservation du maïs et du niébé comme alternative aux pesticides de synthèse.

Les objectifs spécifiques sont de :

- comparer l'efficacité de quatre doses de substances inertes, selon leur origine sur quatre espèces d'insectes ravageurs du maïs et/ou du niébé;
- évaluer l'influence de la granulométrie des substances contre les insectes suscités.

IV.2. Matériel

IV.2.1. Matériel végétal

Les grains utilisés dans les tests sont le niébé et le maïs. Ils ont été achetés au marché Castor de Dakar. Afin d'éviter une infestation cachée, les grains sains sont d'abord triés puis mis dans des sachets en plastique et congelés à une température de -4°C pendant deux semaines. Ils sont ensuite séchés dans une étuve à 30°C pendant 3h de temps avant leur usage. Ils ont une humidité de $10,7\pm 0,5$ % pour le maïs et $10,3\pm 0,5$ % pour le niébé en début d'expérimentation. La mesure de l'humidité des denrées est faite grâce à un humidimètre Mini GAC Plus Dickey John. Du maïs a été utilisé pour les tests sur *S. zeamais*, *T. castaneum* et *P. truncatus* et du niébé pour *C. maculatus*.

IV.2.2. Substances inertes

Les sables siliceux de Diobé 1, Diobé 2 et les attapulgites d'Alou Kagne, Lac Tanma 1 et Lac Tanma 2 sont les cinq substances inertes utilisées dans nos tests. Le tableau 9 présente la localisation, le lieu de prélèvement des substances inertes et leurs coordonnées géographiques.

Tableau 9: Localisation et coordonnées géographiques des lieux de prélèvement des substances inertes

| Types de substances inertes | Lieu de prélèvement | Localisation | Coordonnées géographiques |
|-----------------------------|------------------------------|---------------------|-------------------------------|
| Diobé 1 | (Foumé Hara Diobé) | Matam | N 15° 27,022/ W 13°11,116 |
| Diobé 2 | (Foumé Hara Diobé) | Matam | N 15° 27,022/ W 13°11,116 |
| Lac tanma1 | Lac Tanma grand affleurement | Thiès | N 14°53,808' / W 17° 04,248' |
| Lac tanma2 | Lac Tanma petit affleurement | Thiès | N 14°53,577' / W 17° 04,125' |
| Alou Kagne | SSPT Alou Kagne (Thiès) | Entre Pout et Thiès | N 14°46'43.59/ W 16° 58'27.79 |

La conservation des cinq substances inertes, préalablement moulues et tamisées s'est faite au laboratoire à la température ambiante. Les cinq substances ont été utilisées dans les expérimentations avec chacune deux granulométries différentes, en l'occurrence le refus des tamis de 0,3 et 1 mm.



Figure 27: Substances inertes moulues et tamisées aux granulométries 1mm (a) et 0,3mm (b)

IV.2.3. Matériel biologique

Les adultes des espèces testées *C. maculatus*, *S. zeamais*, *P. truncatus* et *T. castaneum* ont été obtenus d'élevages de souches parentales gardées au laboratoire depuis au moins quatre générations dans les conditions ambiantes. Les élevages sont effectués dans des bocaux en verre d'une capacité d'un litre à couvercle grillagé pour éviter l'évasion des insectes.

IV.2.4. Matériel de laboratoire

Le matériel de laboratoire utilisé pour les différentes expériences est constitué de bocaux en verre d'un litre pour les élevages et comme milieu de tests, de boîtes de Pétri pour l'évaluation des dégâts et des pertes, de pinces souples pour la manipulation des insectes, d'une colonne de tamis, d'une balance de type Bioblock Scientific de capacité 12 kg et de précision ± 2 % pour peser les grains de maïs et graines de niébé, d'une balance de type Denver Instrument de capacité 210g et de précision ± 0.1 % pour peser les poudres de substances inertes, d'un humidimètre Mini GAC Plus Dickey John de précision 0,5 % pour mesurer l'humidité des grains avant les tests et d'une étuve type Memmert d'une capacité de 53 litres pour sécher les grains sortis du congélateur.

IV.3. Méthodes

IV.3.1. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental est en bloc aléatoire complètement randomisé avec 2 granulométries (1 et 0,3 mm) et 4 doses (1, 2, 3, 4 g de sables siliceux de Diobé 1, Diobé 2 et les attapulgites de Lac Tanma 1, Lac Tanma 2 et Alou Kagne), un (1) témoin non traité (D0) et un témoin de référence traité à l'actellic (D1) à la dose recommandée de 50 g/100 kg, soit 0,125 g/250 g. Chaque traitement est répété 4 fois. Au total, 40 bocaux répétés 4 fois (160 bocaux) par insectes sont suivis pour les cinq substances (de Diobé 1, Diobé 2, Alou Kagne, Lac Tanma 1 et Lac Tanma 2) plus quatre témoins blancs et quatre témoins à l'actellic. Le tableau ci-dessous représente le dispositif expérimental mis en place.

Tableau 10: Dispositif expérimental

| TEMOINS | | SUBSTANCES INERTES | | | | | | | | | |
|--------------|-----------------|--------------------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-------------|----------|-------------|----------|
| Témoin blanc | Témoin actellic | Alou Kagne | | Diobé 1 | | Diobé 2 | | Lac Tanma 1 | | Lac Tanma 2 | |
| | | DOSE (g) | Gr. (mm) | DOSE (g) | Gr. (mm) | DOSE (g) | Gr. (mm) | DOSE (g) | Gr. (mm) | DOSE (g) | Gr. (mm) |
| D0 | D1 | D2 | 1 | D2 | 1 | D2 | 1 | D2 | 1 | D2 | 1 |
| | | (1g) | 0,3 | (1g) | 0,3 | (1g) | 0,3 | (1g) | 0,3 | (1g) | 0,3 |
| | | D3 | 1 | D3 | 1 | D3 | 1 | D3 | 1 | D3 | 1 |
| | | (2g) | 0,3 | (2g) | 0,3 | (2g) | 0,3 | (2g) | 0,3 | (2g) | 0,3 |
| | | D4 | 1 | D4 | 1 | D4 | 1 | D4 | 1 | D4 | 1 |
| (3g) | 0,3 | (3g) | 0,3 | (3g) | 0,3 | (3g) | 0,3 | (3g) | 0,3 | | |
| | | D5 | 1 | D5 | 1 | D5 | 1 | D5 | 1 | D5 | 1 |
| | | (4g) | 0,3 | (4g) | 0,3 | (4g) | 0,3 | (4g) | 0,3 | (4g) | 0,3 |

IV.3.2. Méthodologie

Les tests consistent à mettre dans des bocaux d'un volume d'un litre, 250 g de grains de maïs ou de niébé selon le cas et de la substance inerte moulue à tester avant d'en rajouter 20 insectes adultes de l'une des espèces suivantes *C. maculatus*, *S. zeamais*, *P. truncatus* et *T. castaneum*. Ils sont nonsexés et âgés d'au plus deux (2) jours. Pour chacune des substances inertes Alou Kagne, Diobé 1, Diobé 2, Lac Tanma 1 et Lac tanma 2, deux granulométries (1 et 0,3 mm) sont testées aux doses de 1 g, 2 g, 3 g et 4 g de pour 250 g de maïs ou de niébé, selon le cas. Le niébé est infestée avec *C. maculatus* et le maïs avec chacune des trois espèces que sont *S. zeamais*, *P. truncatus* et *T. castaneum*.

Afin d'assurer une répartition homogène de la poudre sur les grains, les bocaux sont agités manuellement pendant 2 à 3 mn. Les insectes sont introduits dans les bocaux 8 à 10 mn après, le temps nécessaire pour le dépôt de toutes les particules.

IV.3.3. Suivi de la mortalité des insectes

Pour le suivi, un relevé des insectes morts est effectué toutes les 24 h. Les individus morts sont retirés des bocaux puis comptés. La durée du test est de 14 jours.

La formule d'Abbott (1925) est utilisée pour corriger la mortalité naturelle des insectes.

IV.3.4. Evaluation des émergences

A la fin des tests de mortalité après 14 jours, les insectes survivants sont comptés puis remis dans leurs pots d'origine. Le nombre d'émergences au bout d'un mois (F1) est obtenu en faisant une soustraction entre le nombre total d'insectes présents dans le pot et le nombre d'insectes ayant survécu après 14 jours de mortalité. Trois mois après, une deuxième évaluation est faite ; le procédé d'évaluation consiste à enlever tous les insectes du premier mois y compris les émergés et attendre trois mois après la F1. Puis une troisième évaluation est effectuée six mois après la F1, selon le même procédé.

IV.3.5. Evaluation des dégâts et des pertes pondérales

L'estimation des dégâts et pertes se fait au bout d'un, trois et six mois comme la quantification des émergences.

IV.3.5.1. Evaluation des dégâts

Pour évaluer les dégâts, les grains/graines et la poudre sont séparés à l'aide d'un tamis. Puis sur 100 grains prélevés au hasard, les grains endommagés et les grains sains sont triés et comptés. Pour chaque traitement, cette procédure est répétée 3 fois et la valeur moyenne déterminée. Les dégâts (D) exprimés en pourcentage correspondent sont obtenus en faisant le rapport du nombre moyen de grains endommagés sur le nombre total de grain.

$$D(\%) = \frac{B}{C} \times 100$$

B = nombre moyen de grains endommagés ; C = nombre total de grains

IV.3.5.2. Estimation des pertes pondérales

Dans chaque échantillon, 100 grains sont comptés au hasard en 3 répétitions. Les grains sains et attaqués sont séparément comptés et pesés. La moyenne des trois répétitions pour chaque échantillon est calculée. Les pertes en pourcentage, sont calculées suivant la formule de Boxall (1986):

$$Pertes(\%) = \frac{(E \times B) - (C \times D)}{(E \times A)} \times 100$$

A = nombre total de grains ; B = nombre de grains endommagés (attaqués) ; C = nombre de grains sains ; D = poids de grains endommagés (attaqués) ; E = poids de grains sains

IV.3.6. Analyses statistiques

Pour les données des tests biologiques avec les poudres de substances inertes, les variables mesurées sont le taux de mortalité, le nombre d'insectes émergés après un, trois et six mois; le pourcentage de dégâts et de pertes après un, trois et six mois.

La mortalité calculée a été obtenue en appliquant la formule d'Abbott (1925) :

$Mc = (Mo - Mt) / (100 - Mt) * 100$; (où Mo = mortalité dans les lots traités, Mt = mortalité dans le témoin et Mc = mortalité calculée). La variable taux de mortalité est soumise à une analyse de variance avec trois facteurs (granulométrie, doses et substance inerte) et les variables émergence, dégâts et pertes sont soumises à une analyse de variance multi variée (MANOVA) à quatre facteurs (granulométrie, doses, substance inerte et temps). Le test de Newman et Keuls sur XL STAT-Premium a été utilisé pour la comparaison des moyennes au seuil de 5%.

IV.4. Résultats

IV.4.1. Suivi de la mortalité des différents insectes ravageurs

IV.4.1.1. Influence de la dose des substances inertes d'Alou Kagne, Diobé 1 et 2, Lac Tanma 1 et 2 sur la mortalité des insectes

Le tableau 11 présente l'effet de la dose des substances inertes d'Alou Kagne, Diobé 1, Diobé 2, Lac Tanma 1 et Lac Tanma 2 sur la mortalité de *C. maculatus*, *S. zeamais*, *P. Truncatus* et *T. castaneum*. Il n'est pas observé de mortalité quelque soit l'espèce d'insectes pour le témoin (D0) alors que la mortalité est de 100 % pour l'actellic (D1). La mortalité observée chez les différentes espèces d'insectes varie selon la dose appliquée pour toutes les substances inertes testées. Globalement, elle augmente avec l'augmentation de la dose. *C. maculatus* est l'espèce la plus sensible à toutes les doses avec une mortalité maximale de 80 % à la dose D5 avec Diobé 1. *P. Truncatus* et *T. castaneum* sont les moins sensibles à toutes les doses des différentes substances inertes avec des taux de mortalité qui ne dépassent guère 45 %. La dose D2 (1g) est la moins efficace de toutes les doses de substances inertes avec des mortalités maximales de 26 % avec l'attapulgite d'Alou Kagne qui sont statistiquement inférieures aux autres doses des substances inertes quelque soit l'espèce d'insectes. La dose D5 de Diobé 1 est la plus efficace contre *C. maculatus* et *S. zeamais* ; celle d'Alou Kagne est la plus efficace contre *P. Truncatus* et *T. castaneum* causant respectivement 41 et 35 % de mortalité. La dose D5 (4g) s'est avérée plus efficace; elle cause des mortalités qui sont significativement plus élevées que les trois premières doses (D2, D3 et D4) et, ceci quelque soit l'insecte.

Tableau 11: Effet de la dose des substances inertes d'Alou Kagne, Diobé 1 et 2, Lac Tanma 1 et 2 sur la mortalité (%) de *C. maculatus*, *S. zeamais*, *P. Truncatus* et *T. castaneum*

Pour la même substance inerte et même espèce, les taux de mortalité suivis d'une même lettre ne présentent pas de différence significative au seuil de 5%

| | Alou Kagne | | | | Diobé 1 | | | | Diobé 2 | | | | Lac Tanma 1 | | | | Lac Tanma 2 | | | |
|-----------|-------------------|-------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|-------------------|-------------------|------------------|-------------------|-------------------|--------------------|------------------|-------------------|
| | <i>C.m</i> | <i>S.z</i> | <i>P.t</i> | <i>T.c</i> | <i>C.m</i> | <i>S.z</i> | <i>P.t</i> | <i>T.c</i> | <i>C.m</i> | <i>S.z</i> | <i>P.t</i> | <i>T.c</i> | <i>C.m</i> | <i>S.z</i> | <i>P.t</i> | <i>T.c</i> | <i>C.m</i> | <i>S.z</i> | <i>P.t</i> | <i>T.c</i> |
| D0 | 0 ^a | 0 ^a | 0 ^a | 0 ^a | 0 ^a | 0 ^a | 0 ^a | 0 ^a | 0 ^a | 0 ^a | 0 ^a | 0 ^a | 0 ^a | 0 ^a | 0 ^a | 0 ^a | 0 ^a | 0 ^a | 0 ^a | 0 ^a |
| D1 | 100 ^f | 100 ^e | 100 ^d | 100 ^e | 100 ^e | 100 ^e | 100 ^c | 100 ^c | 100 ^d | 100 ^d | 100 ^d | 100 ^d | 100 ^e | 100 ^c | 100 ^d | 100 ^d | 100 ^d | 100 ^e | 100 ^c | 100 ^d |
| D2 | 26 ^b | 6,6 ^a | 3,8 ^a | 3,2 ^a | 8,5 ^a | 6,4 ^a | 1,5 ^a | 2 ^a | 10,1 ^a | 5,8 ^a | 1,9 ^{ab} | 1,4 ^b | 25,7 ^b | 3,2 ^a | 1,8 ^b | 1,7 ^b | 13 ^b | 3,9 ^{ab} | 1,4 ^b | 1,5 ^b |
| D3 | 47,2 ^c | 31,9 ^b | 30,4 ^b | 15 ^b | 38,4 ^b | 31,2 ^c | 3,6 ^a | 4,5 ^a | 39,3 ^b | 13 ^b | 2,8 ^b | 2,3 ^b | 37,2 ^c | 4 ^a | 2,1 ^b | 2,6 ^{bc} | 33,6 ^c | 8,6 ^{bc} | 2 ^b | 2,2 ^b |
| D4 | 66,1 ^d | 48,2 ^c | 37,4 ^{bc} | 27,2 ^c | 71,3 ^c | 40,2 ^c | 5,4 ^a | 5,4 ^a | 34,7 ^b | 13,8 ^b | 3,3 ^b | 2,2 ^b | 40 ^c | 6,4 ^a | 2,6 ^b | 3,1 ^c | 41,6 ^c | 11,1 ^{cd} | 1,8 ^b | 2,6 ^{bc} |
| D5 | 77,7 ^e | 58,9 ^d | 41,5 ^c | 35,9 ^d | 80,4 ^d | 70,8 ^d | 16,7 ^b | 22,4 ^b | 61,5 ^c | 52,6 ^c | 5,5 ^c | 4,4 ^c | 51,8 ^d | 17,4 ^b | 3,9 ^c | 3,4 ^c | 41,9 ^c | 16 ^d | 1,8 ^b | 3,6 ^c |

C. m = *Callosobruchus maculatus*; *S. z* = *Sitophilus zeamais*; *P. t* = *Prostephanus truncatus*; *T. c* = *Tribolium castaneum*

IV.4.1.2. Influence de la granulométrie des substances inertes d'Alou Kagne, Diobé 1 et 2, Lac Tanma 1 et 2 sur la mortalité de *C. maculatus*, *S. zeamais*, *P. Truncatus* et *T. castaneum*

La figure 28 montre l'influence de la granulométrie des substances inertes sur la mortalité des différentes espèces d'insectes. Au niveau du témoin, la mortalité est nulle alors qu'elle est de 100 % avec l'actellic. Les granulométries 1 mm et 0,3 mm causent des mortalités différentes selon le type de substances inertes mais aussi l'espèce d'insectes. L'attapulгите d'Alou Kagne à la granulométrie 0,3 mm est plus efficace avec des mortalités de 67,4 % , 52,2 % , 52,2 % et 36,9 % respectivement pour *C. maculatus*, *S. zeamais*, *P. Truncatus* et *T. castaneum*. *C. maculatus* s'est montré particulièrement sensible à la finesse des particules de substances inertes. A 0,3 mm, la mortalité de *C. maculatus* atteint 67 % avec l'attapulгите d'Alou Kagne et 45 % à 1 mm avec le sable siliceux Diobé 1. *P. truncatus* et *T. castaneum* sont les insectes les plus résistants aux deux granulométries. Les mortalités causées par les substances inertes Diobé 1, Diobé 2, Lac Tanma 1 et Lac Tanma 2 sur les deux insectes ne dépassent guère les 10 % quelque soit la granulométrie. La granulométrie 0,3 mm donne plus d'efficacité que 1 mm quelque soit la substance inerte et l'insecte.

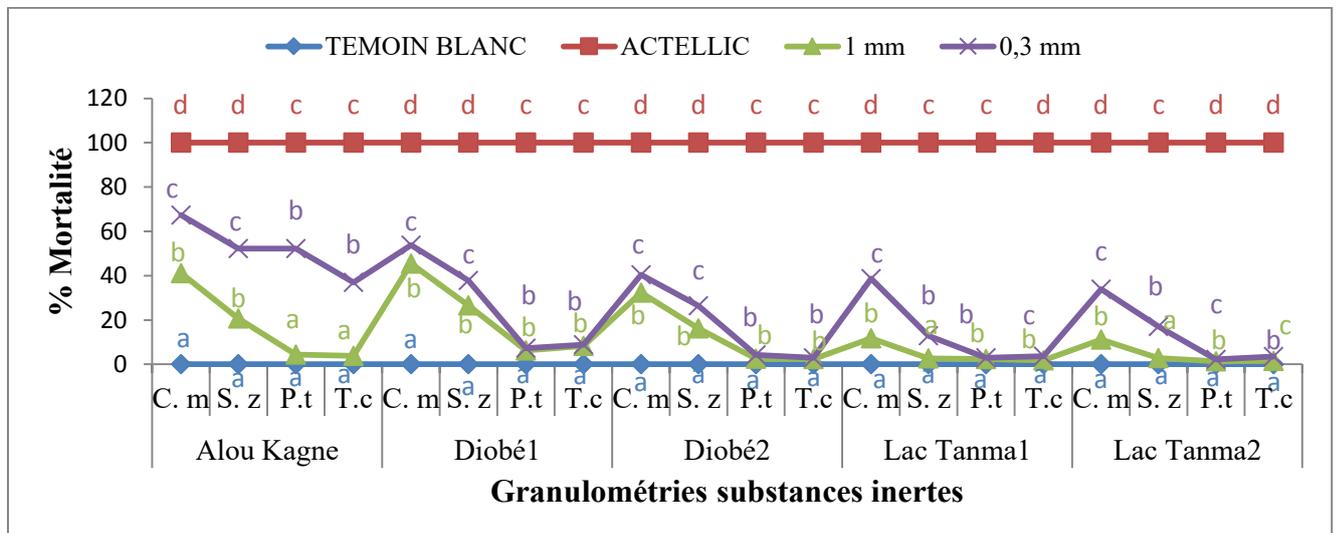


Figure 28: Influence de la granulométrie des substances inertes sur la mortalité des insectes
 Pour la même substance inerte et le même insecte, les taux de mortalité suivis d'une même lettre ne
 présentent pas de différence significative au seuil de 5%

C. m = *Callosobruchus maculatus*; S. z = *Sitophilus zeamais*; P. t = *Prostephanus truncatus*;
 T. c = *Tribolium castaneum*

IV.4.1.3. Efficacité des substances inertes d'Alou kagne, Diobé 1, Diobé 2, Lac Tanma 1 et Lac Tanma 2 sur la mortalité de *C. maculatus*, *S. zeamais*, *P. truncatus* et *T. castaneum*

La figure 29 montre les effets des substances inertes sur la mortalité des différentes espèces d'insectes.

Les attapulgites d'Alou Kagne causent les plus grandes mortalités et ceci quelque soit l'espèce avec un maximum de mortalité de 54,3 % chez *C. maculatus*. *C. maculatus* présente la même sensibilité à toutes les substances inertes. *S. Zeamais* a une sensibilité significativement égale avec les substances inertes d'Alou Kagne et de Diobé 1 et Diobé 2, par contre *P. truncatus* et *T. castaneum* sont significativement moins sensibles aux tests réalisés avec les substances inertes de Diobé 1, Diobé 2, Lac Tanma 1 et 2 par rapport aux l'attapulgites d'Alou Kagne. Cependant, aucune substance inerte n'a statistiquement la même efficacité que l'actellic qui cause 100 % de mortalité. Néanmoins, Alou Kagne est significativement différent (plus efficace) des autres substances inertes.

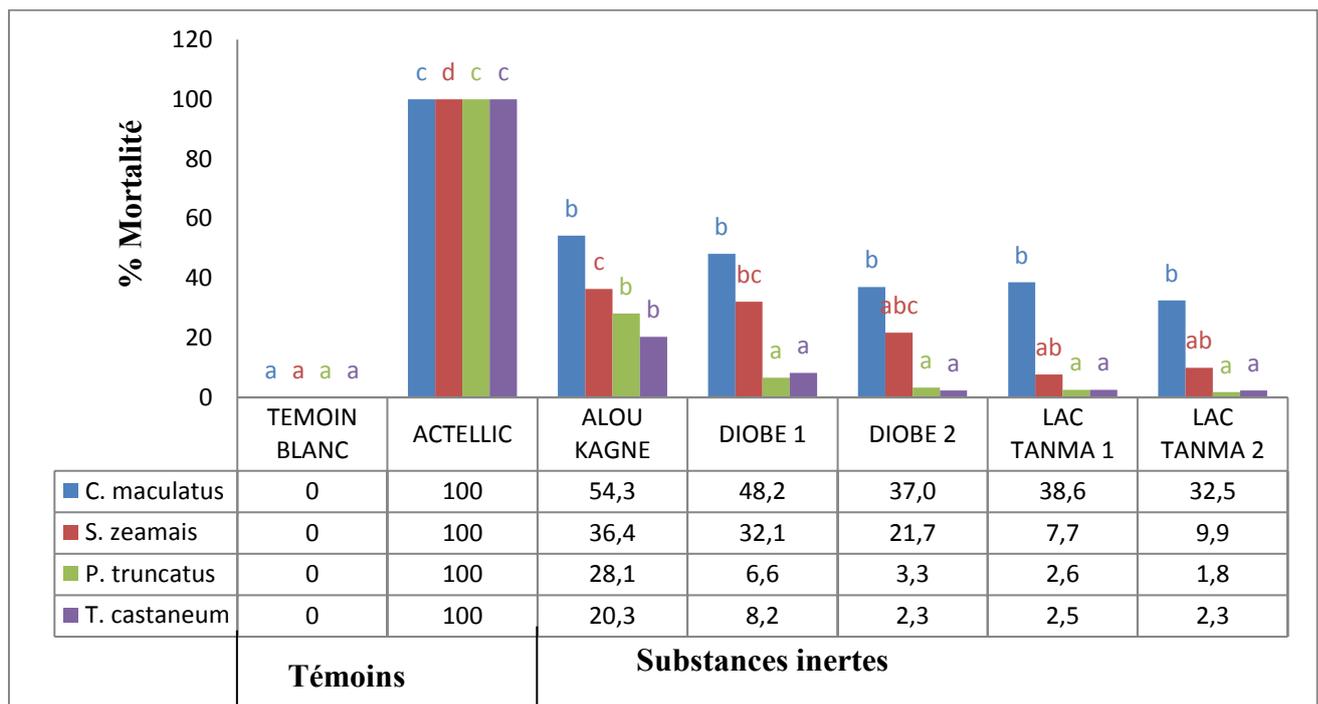


Figure 29: Efficacité des substances inertes sur la mortalité des insectes

Pour le même insecte, les taux de mortalité suivis d'une même lettre ne présentent pas de différence significative au seuil de 5%

IV.4.2. Evaluation des émergences

IV.4.2.1. Efficacité de la dose des substances inertes sur le nombre d'émergences des insectes

Le tableau 12 montre l'efficacité de la dose des substances inertes d'Alou Kagne, Diobé 1, Diobé 2, Lac Tanma 1 et Lac Tanma 2 sur le nombre d'insectes émergés. Il convient de noter que les insectes émergent plus au niveau du témoin blanc (D0) avec un maximum de 283 *C. maculatus* émergés. Aucune émergence n'est notée au niveau de D1 (actellic) pour tous les insectes. Lorsque la dose de chaque substance inerte augmente, le nombre d'émergents quelque soit l'insecte diminue. La dose D2 (1g) de toutes les substances inertes est celle où les insectes émergent le plus. A cette dose (1 g), *P. truncatus* est l'espèce qui émerge le plus sur du maïs protégé par le sable siliceux Diobé 1, soit 130 émergents. A la dose D5 (4g), toutes les espèces d'insectes émergent moins par rapport aux doses D2, D3 (2g) et D4 (3g). A cette dose (4 g) *C. maculatus* n'émerge pas lorsque le maïs est protégé avec les sables siliceux Diobé 1 et Diobé 2. La dose D5 (4g) assure un bon contrôle des émergences qui est significativement égal à celui de l'actellic quelque soit l'espèce d'insectes. Les attapulgites d'Alou Kagne aux doses D3 (2g), D4 (3g) et D5 (4 g) ont la même efficacité que l'actellic à contrôler toutes les espèces d'insectes, contrairement aux sables siliceux de Diobé 1 et 2 et aux attapulgites de Lac Tanma 1 et 2.

Tableau 12: Influence de la dose des substances inertes sur le nombre d'émergences des insectes

Pour le même insecte, les émergences suivies d'une même lettre ne présentent pas de différence significative au seuil de 5 %

| | Alou Kagne | | | | Diobé 1 | | | | Diobé 2 | | | | Lac Tanma 1 | | | | Lac Tanma 2 | | | |
|-----------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|
| | <i>C.m</i> | <i>S.z</i> | <i>P.t</i> | <i>T.c</i> | <i>C.m</i> | <i>S.z</i> | <i>P.t</i> | <i>T.c</i> | <i>C.m</i> | <i>S.z</i> | <i>P.t</i> | <i>T.c</i> | <i>C.m</i> | <i>S.z</i> | <i>P.t</i> | <i>T.c</i> | <i>C.m</i> | <i>S.z</i> | <i>P.t</i> | <i>T.c</i> |
| D0 | 283 ^c | 246 ^b | 255 ^c | 61 ^c | 283 ^c | 246 ^c | 255 ^d | 61 ^b | 283 ^c | 246 ^d | 255 ^d | 61 ^b | 283 ^c | 246 ^c | 255 ^d | 61 ^c | 283 ^c | 246 ^d | 255 ^d | 61 ^c |
| D1 | 0 ^a | 0 ^a | 0 ^a | 0 ^a | 0 ^a | 0 ^a | 0 ^a | 0 ^a | 0 ^a | 0 ^a | 0 ^a | 0 ^a | 0 ^a | 0 ^a |
| D2 | 54 ^b | 38 ^a | 65 ^b | 25 ^b | 42 ^b | 88 ^b | 130 ^c | 12 ^a | 52 ^b | 112 ^c | 103 ^c | 16 ^a | 58 ^b | 90 ^b | 75 ^c | 22 ^b | 70 ^b | 104 ^c | 106 ^c | 28 ^b |
| D3 | 29 ^{ab} | 27 ^a | 36 ^{ab} | 14 ^{ab} | 12 ^a | 36 ^a | 88 ^{bc} | 12 ^a | 16 ^a | 67 ^b | 79 ^{bc} | 12 ^a | 34 ^a ^b | 70 ^b | 52 ^{bc} | 14 ^{ab} | 22 ^a | 58 ^b | 63 ^b | 17 ^a |
| D4 | 24 ^{ab} | 14 ^a | 30 ^{ab} | 11 ^a | 4 ^a | 25 ^a | 56 ^{ab} | 7 ^a | 7 ^a | 62 ^b | 47 ^{ab} | 11 ^a | 24 ^{ab} | 61 ^b | 38 ^{ab} | 12 ^{ab} | 23 ^a | 30 ^{ab} | 53 ^b | 14 ^a |
| D5 | 4 ^a | 6 ^a | 10 ^a | 5 ^a | 0 ^a | 6 ^a | 8 ^a | 2 ^a | 0 ^a | 29 ^{ab} | 26 ^a | 8 ^a | 6 ^a | 25 ^a | 22 ^{ab} | 8 ^{ab} | 8 ^a | 20 ^{ab} | 37 ^{ab} | 8 ^a |

C. m = *Callosobruchus maculatus*; *S. z* = *Sitophilus zeamais*; *P. t* = *Prostephanus truncatus*; *T. c* = *Tribolium castaneum*

IV.4.2.2. Effet de la granulométrie des substances inertes sur le nombre d'émergences des différentes espèces d'insectes

La figure 30 présente l'efficacité des granulométries 1 mm et 0,3 mm des substances inertes sur le nombre d'émergences des différentes espèces d'insectes. Il est à noter que les émergences sont plus élevées quel que soit l'insecte avec la granulométrie 1 mm. *P. truncatus* est l'espèce qui émerge le plus soit 93 individus lorsque le maïs est protégé avec l'attapulгите de Lac Tanma 2, ceux-ci sont réduits à 17 émergents à 0,3 mm avec l'attapulгите d'Alou Kagne. *C. maculatus* (49) et *T. castaneum* (23) donnent de bien plus faibles émergences à 1 mm tandis qu'à 0,3 mm, le nombre maximal de descendants se situe à 7 pour *C. maculatus* et 6 pour *T. castaneum*. Quelque soit la substance inerte et l'insecte, la granulométrie 0,3 mm contrôle mieux les émergences des différentes espèces d'insectes que la granulométrie 1 mm. A cette granulométrie (0,3 mm), toutes les substances inertes ont la même efficacité que l'actellic où aucun insecte n'émerge. A la granulométrie 0,3 mm, les insectes émergent moins lorsque le maïs et le niébé sont protégés par les différentes substances inertes.

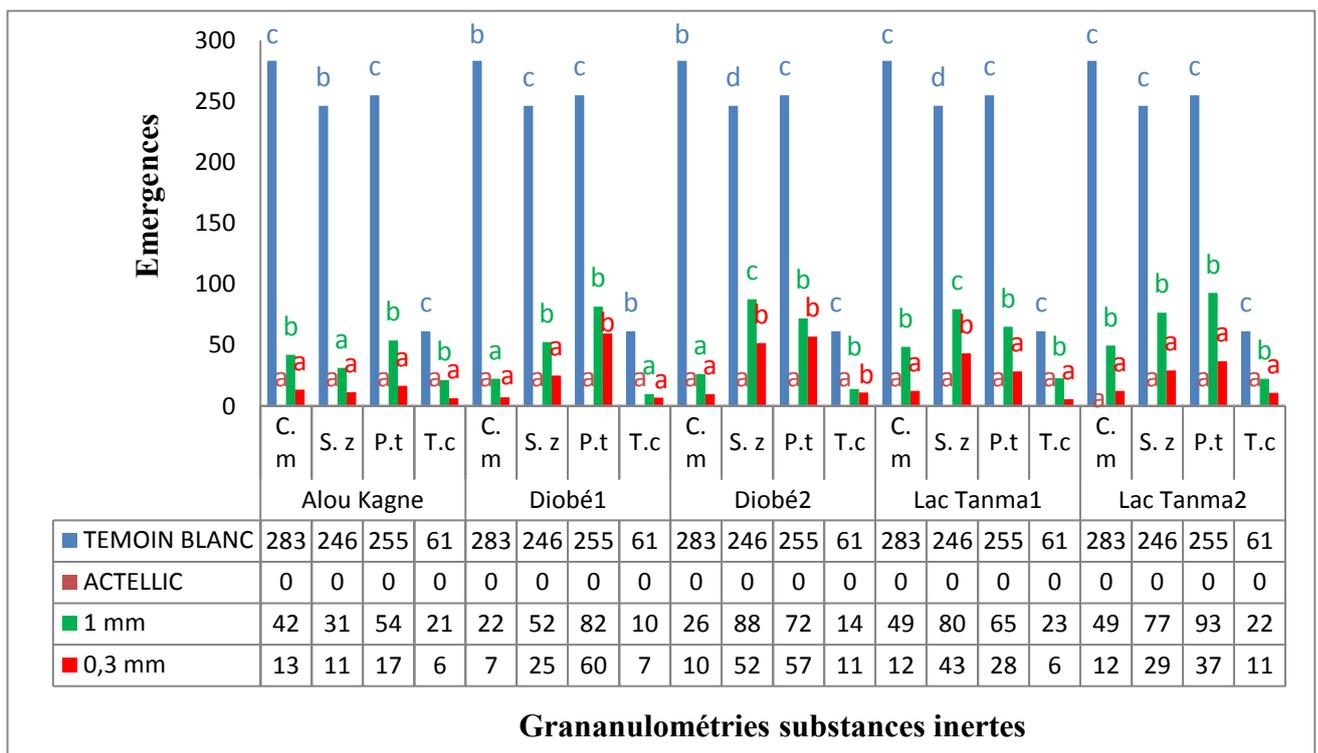


Figure 30: Influence de la granulométrie des substances inertes sur le nombre d'émergences des insectes

Pour le même insecte, les émergences suivies d'une même lettre ne présentent pas de différence significative au seuil de 5 %

IV.4.2.3. Influence des substances inertes sur les émergences des insectes

La figure 31 montre l'efficacité de différentes substances inertes sur les émergences des différentes espèces d'insectes. Les insectes émergent plus au niveau du témoin avec un maximum de 252 *C. maculatus* contrairement au traitement à l'actellic où aucun insecte n'a émergé. Avec les substances inertes testées, *P. truncatus* est l'insecte qui émerge plus avec des maxima de 71 émergents avec le sable siliceux Diobé 1. Les émergences de *C. maculatus* au niveau des différentes substances inertes sont égales à celles notées avec l'actellic. Alou Kagne et Diobé 1 ont la même efficacité que l'actellic pour le contrôle de *S. zeamais*. Seules les attapulgites d'Alou Kagne et de Lac Tanma 1 ont la même efficacité que l'actellic à contrôler les émergences de *P. truncatus*. En somme, l'attapulgite d'Alou Kagne en comparaison à l'actellic, réduit mieux les émergences de *C. maculatus*, *S. zeamais* et *P. truncatus* par rapport aux autres substances inertes.

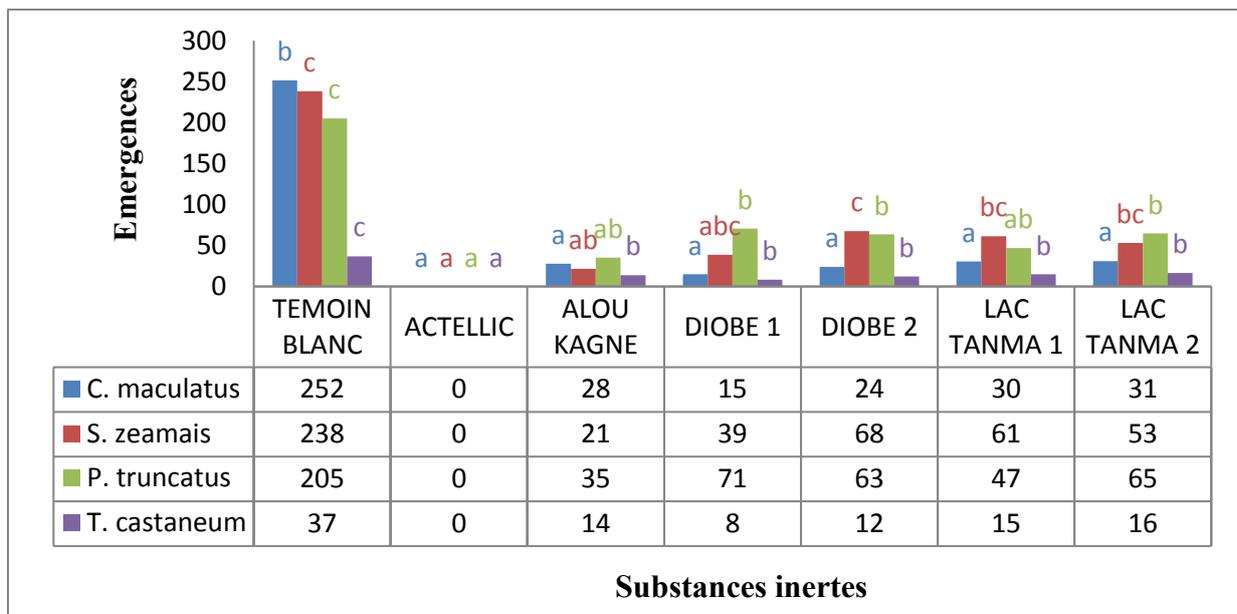


Figure 31: Efficacités des substances inertes sur le nombre d'émergences des différentes espèces d'insectes

Pour le même insecte, les émergences suivies d'une même lettre ne présentent pas de différence significative au seuil de 5%

IV.4.2.4. Effet des substances inertes sur l'émergence des différentes espèces d'insectes en fonction du temps

Le tableau 13 montre que le lambda de Wilks (0,732) est associé à une p-value plus faible que le seuil de risque alpha (0,05).

Tableau 13: Test de Wilks (approximation de Rao): Effet des substances inertes sur les émergences des différentes espèces d'insectes après un, trois et six mois

| | Substances inertes*Durée |
|-----------------------|--------------------------|
| Lambda | 0,732 |
| F (Valeurs observées) | 1,350 |
| DDL1 | 32 |
| DDL2 | 488 |
| F (Valeurs observées) | 1,467 |
| p-value | < 0,0001 |

L'hypothèse nulle d'absence d'effet des substances inertes sur les émergences des insectes sur un, trois et six mois est donc rejetée. Les substances inertes inhibent la reproduction et l'émergence de *C. maculatus*, *S. zeamais*, *P. truncatus* et *T. castaneum* sur le niébé et le maïs. Le tableau 14 révèle l'efficacité des substances inertes d'Alou Kagne, Diobé 1, Diobé 2, Lac Tanma 1 et Lac Tanma 2 sur l'évolution des émergences des différentes espèces d'insectes après un, trois et six mois. *P. truncatus* est l'espèce qui émerge plus en six mois de stockage lorsque le maïs n'est pas protégé, soit 435 émergents. Durant ce temps, le sable siliceux Diobé 2 est le moins efficace des substances inertes avec 108 *P. truncatus* et 109 *S. zeamais* émergés. Ces deux insectes émergent moins lorsque le substrat est protégé durant six mois avec l'attapulgite d'Alou kagne (36 *S. zeamais* et 55 *P. truncatus*). *T. castaneum* et *C. maculatus* ont donné des taux d'émergence faibles en six mois de stockage avec des minima respectifs de 59 émergents en six mois à Lac Tanma 1 et 27 à Lac Tanma 2.

L'influence des différentes substances inertes sur l'émergence des différentes espèces d'insectes diminue avec le temps. L'émergence des différentes espèces d'insectes en un mois double en trois mois et triple en six mois de stockage.

C. maculatus est la seule espèce dont les émergences sont significativement égales au premier et au troisième mois comparativement à l'actellic lorsque les substrats sont protégés par les différentes substances inertes.

Au sixième mois, aucune substance inerte n'a la même efficacité que l'actellic quelque soit l'insecte. Par contre, Alou kagne est la seule substance inerte qui a gardé la même efficacité que l'actellic à contrôler les émergences de *S zeamais* jusqu'à trois mois.

Les substances inertes d'Alou Kagne, Diobé 1 et Diobé 2 ont pu contrôler efficacement *T. castaneum*, ceci sur un mois. *P. truncatus* est la seule espèce durant un, trois et six mois de tests où aucune substance inerte n'a pu avoir la même efficacité que l'actellic. Il faut noter qu'en six mois de test, aucune substance inerte n'a pu contrôler les émergences des différents insectes comme l'actellic. En somme, l'attapulgite d'Alou Kagne est la plus efficace de toutes les substances inertes en comparaison à l'actellic.

Tableau 14: Efficacité des substances inertes sur l'évolution des émergences des insectes après un, trois et six mois

Pour le même insecte et même mois, les émergences suivies d'une même lettre ne présentent pas de différence significative au seuil de 5%

| Insectes | <i>C. maculatus</i> | | | <i>S. zeamais</i> | | | <i>P. truncatus</i> | | | <i>T. castaneum</i> | | |
|-----------------|---------------------|------------------|------------------|-------------------|------------------|------------------|---------------------|------------------|-------------------|---------------------|-----------------|------------------|
| | 1mois | 3mois | 6mois | 1mois | 3mois | 6mois | 1mois | 3mois | 6mois | 1mois | 3mois | 6mois |
| Temps | | | | | | | | | | | | |
| S.I. | | | | | | | | | | | | |
| TB | 174 ^b | 281 ^b | 396 ^c | 78 ^c | 278 ^d | 382 ^d | 107 ^e | 233 ^c | 435 ^e | 14 ^c | 55 ^c | 115 ^c |
| Actellic | 0 ^a | 0 ^a | 0 ^a | 0 ^a | 0 ^a | 0 ^a | 0 ^a | 0 ^a | 0 ^a | 0 ^a | 0 ^a | 0 ^a |
| AK | 4 ^a | 21 ^a | 38 ^b | 8 ^a | 20 ^a | 36 ^b | 13 ^b | 37 ^b | 55 ^b | 5 ^a | 13 ^b | 24 ^b |
| DB1 | 5 ^a | 14 ^a | 26 ^b | 6 ^a | 41 ^b | 70 ^{bc} | 31 ^{cd} | 54 ^b | 93 ^{bcd} | 3 ^a | 8 ^b | 15 ^b |
| DB2 | 10 ^a | 17 ^a | 29 ^b | 26 ^b | 68 ^c | 109 ^c | 33 ^{cd} | 49 ^b | 108 ^d | 5 ^a | 12 ^b | 19 ^b |
| LT1 | 6 ^a | 27 ^a | 59 ^b | 31 ^b | 60 ^{bc} | 93 ^c | 28 ^c | 43 ^b | 69 ^{cd} | 7 ^b | 12 ^b | 24 ^b |
| LT2 | 9 ^a | 28 ^a | 56 ^b | 28 ^b | 51 ^{bc} | 80 ^c | 42 ^d | 58 ^b | 69 ^{bcd} | 8 ^b | 15 ^b | 27 ^b |

S.I = Substance Inerte TB = Témoin Blanc, AK = Alou Kagne ; DB1 = Diobé 1 ; DB2 = Diobé 2 ; LT1 = Lac Tanma 1 ; LT2 = Lac Tanma 2

IV.4.3. Estimation des dégâts causés *C. maculatus*, *S. zeamais*, *P. truncatus* et *T. castaneum*

IV.4.3.1. Incidence de la dose des substances inertes sur les dégâts causés par les différents insectes

Le tableau 15 montre l'influence de la dose de substances inertes sur les dégâts causés par *C. maculatus*, *S. zeamais*, *P. truncatus* et *T. castaneum*. Les insectes causent des dégâts importants au niveau du témoin D0 avec un maximum de 39 % du fait de *P. truncatus* et un minimum de 18 % de dégâts avec *T. castaneum*. Avec l'actellic, aucun dégât n'est enregistré quelque soit l'insecte. Avec les substances inertes, la dose D2 (1 g) s'est révélée la moins efficace, les insectes y commettent des dégâts dont le minimum est de 9,2 % du fait de *T. castaneum* et le maximum 20,6 % est à l'actif de *P. truncatus* lorsque le substrat est protégé avec le sable siliceux Diobé 2. A la dose D5 (4 g), hormis *P. truncatus* qui causent des dégâts de 11 %, les dégâts causés par les autres espèces d'insectes ne dépassent guère les 8 %. Les dégâts à D0 plus élevés que ceux observés avec les différentes doses de substances inertes. Cependant, la dose D2 (1g) des substances inertes est la moins efficace, suivies respectivement des doses D3 (2g) et D4 (3 g). A la dose D5 (4 g) qui est la plus efficace, les dégâts causés par *C. maculatus* lorsque le niébé est protégé par les différentes substances inertes sont équivalents à ceux observés avec l'actellic. A cette même dose, Alou Kagne a la même efficacité que l'actellic à empêcher *S. zeamais* à commettre des dégâts. Cependant, aucune substance inerte à la dose D5 (4 g) n'a pu contrôler les dégâts de *P. truncatus* et *T. castaneum* de la même manière que l'actellic.

Tableau 15: Effet de la dose des substances inertes sur les dégâts causés par les insectes

Pour le même insecte, les pourcentages de dégâts suivis d'une même lettre ne présentent pas de différence significative au seuil de 5%

| | Alou Kagne | | | | Diobé 1 | | | | Diobé 2 | | | | Lac Tanma 1 | | | | Lac Tanma 2 | | | |
|-----------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | <i>C.m</i> | <i>S.z</i> | <i>P.t</i> | <i>T.c</i> |
| D0 | 33,9 ^d | 35,6 ^c | 39,3 ^e | 18,4 ^d | 33,9 ^d | 35,6 ^c | 39,3 ^e | 18,4 ^c | 33,9 ^c | 35,6 ^c | 39,3 ^f | 18,4 ^c | 33,9 ^d | 35,6 ^c | 39,3 ^f | 18,4 ^c | 33,9 ^d | 35,6 ^c | 39,3 ^e | 18,4 ^c |
| D1 | 0 ^a |
| D2 | 10,8 ^c | 12 ^d | 17 ^d | 11 ^d | 12,5 ^c | 17,4 ^d | 23,1 ^d | 6,9 ^d | 11,5 ^b | 20,6 ^d | 17,9 ^e | 9,2 ^d | 12,6 ^c | 18,5 ^d | 19,3 ^e | 9,5 ^d | 13,8 ^c | 20,1 ^d | 21,6 ^d | 11,7 ^d |
| D3 | 6,3 ^b | 8,7 ^c | 10,8 ^c | 6,1 ^c | 5,7 ^b | 10,8 ^c | 17 ^c | 5,7 ^c | 3,6 ^a | 14,4 ^c | 14,5 ^d | 6,9 ^c | 7,7 ^b | 14,6 ^c | 14,5 ^d | 6,9 ^c | 5,8 ^b | 12,8 ^c | 15,1 ^c | 8,1 ^c |
| D4 | 5,3 ^b | 5,1 ^b | 8,6 ^c | 5,7 ^c | 5,3 ^b | 8,9 ^b | 16 ^c | 4,1 ^c | 3,4 ^a | 14,1 ^c | 12,3 ^c | 6,7 ^c | 6,7 ^b | 13,5 ^c | 11,3 ^c | 6,2 ^{bc} | 6,3 ^b | 9,5 ^b | 14,3 ^c | 6,9 ^c |
| D5 | 1,7 ^a | 2,6 ^{ab} | 3,9 ^b | 2,6 ^b | 0,7 ^a | 2,3 ^{ab} | 6,4 ^b | 2,2 ^b | 0,3 ^a | 7,8 ^b | 7,5 ^b | 3,8 ^b | 2,5 ^a | 6,4 ^b | 8,2 ^b | 4,4 ^b | 2,5 ^a | 6,5 ^b | 11,3 ^b | 4,6 ^b |

C. m = *Callosobruchus maculatus*; *S. z* = *Sitophilus zeamais*; *P. t* = *Prostephanus truncatus*; *T. c* = *Tribolium castaneum*

IV.4.3.2. Incidence de la granulométrie des substances inertes sur les dégâts causés par les différentes espèces d'insectes

La figure 32 montre l'incidence des granulométries 1 mm et 0,3 mm des substances inertes d'Alou Kagne, Diobé 1, Diobé 2, Lac Tanma 1 et Lac Tanma 2 sur les dégâts causés par *C. maculatus*, *S. zeamais*, *P. truncatus* et *T. castaneum*. A 1 mm, les insectes causent plus de dégâts sur le maïs et le niébé. Cependant, ces dégâts sont fonction de l'insecte qui les commet. *P. truncatus* est le plus nuisible (20,8 % de dégâts) sur du maïs protégé avec l'attapulгите de Lac Tanma 2. A 0,3 mm, les dégâts sont moindres avec un maximum de 14 % causés par *P. truncatus* lorsque le niébé est protégé avec le sable siliceux Diobé 1 et un minimum de 3,5 % causé par *C. maculatus* lorsque le niébé est protégé avec les attapulgités d'Alou Kagne. Le test de Newman-keuls montre qu'il existe des différences significatives sur les dégâts causés par chaque insecte selon la granulométrie des substances inertes. Pour un insecte donné, les dégâts causés sont significativement plus élevés avec une granulométrie de 1 mm qu'avec 0,3 mm.

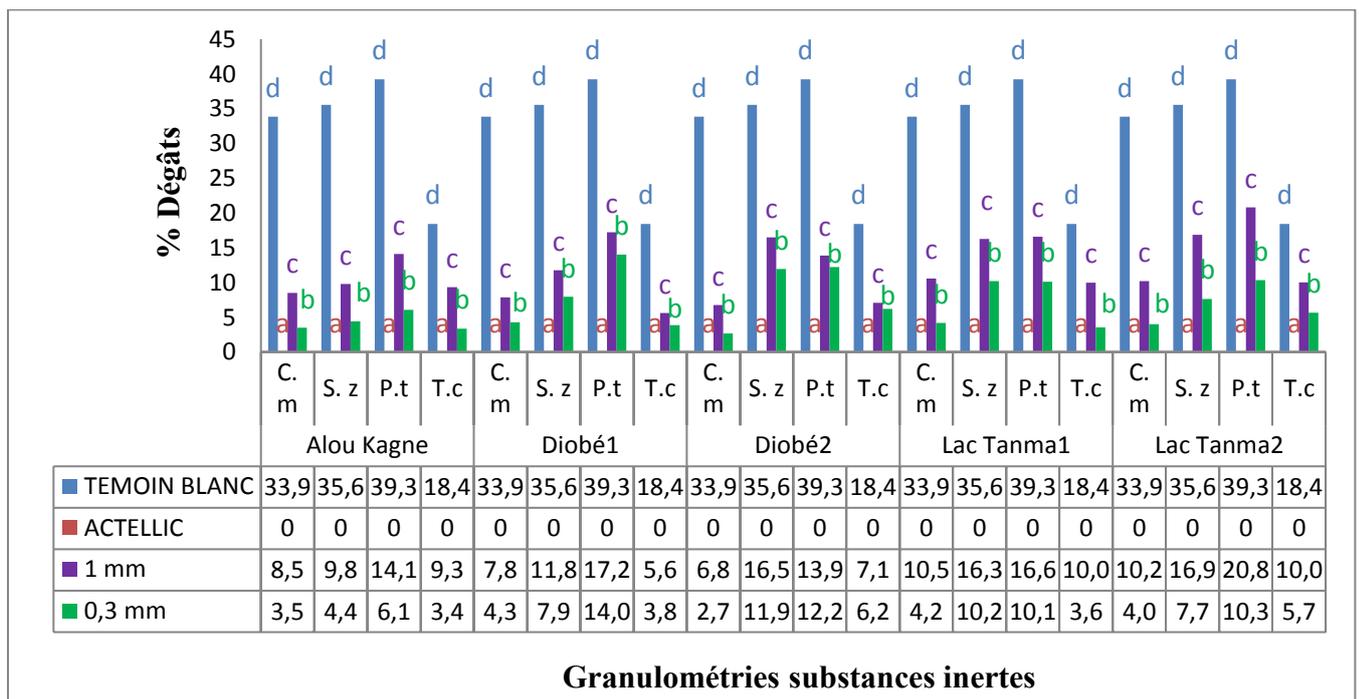


Figure 32: Influence de la granulométrie de substances inertes sur les dégâts causés par *C. maculatus*, *S. zeamais*, *P. truncatus* et *T. castaneum*

Pour le même insecte, les pourcentages de dégâts suivis d'une même lettre ne présentent pas de différence significative au seuil de 5%

IV.4.3.3. Efficacité des substances inertes sur les dégâts causés par les insectes

La figure 33 présente l'efficacité des substances inertes d'Alou Kagne, Diobé 1, Diobé 2, Lac Tanma 1 et Lac Tanma 2 sur les dégâts causés par les différentes espèces d'insectes. *C. maculatus* cause des dégâts de 33,8 % sur du niébé non protégé. Cependant ces dégâts sont nuls avec l'actellic. Lorsque le niébé est protégé avec les substances inertes d'Alou Kagne, de Diobé 1, Diobé 2, Lac Tanma 1 et Lac Tanma 2, les dégâts sont respectivement de 6 ; 6,1 ; 4,7 ; 7,4 et 7,1 %. Alou Kagne, Diobé 1 et Diobé 2 sont significativement plus efficaces que les attapulgites de Lac Tanma 1 et 2. *S. zeamais*, *P. truncatus* et *T. castaneum* commettent respectivement des dégâts de l'ordre de 35, 39 et 18 % lorsque le maïs n'est pas protégé. Lorsque le maïs est protégé avec les différentes substances inertes, les dégâts diminuent avec des minima de 7,1 et 10,1 % causés respectivement par *S. zeamais* et *P. truncatus* avec les attapulgites d'Alou Kagne. Celles-ci protègent mieux le maïs que les autres substances inertes contre les attaques de *S. zeamais* et *P. truncatus*. Par contre le sable siliceux Diobé 1 protège mieux le maïs des attaques de *T. castaneum*. Cependant, aucune substance inerte n'a la même efficacité que l'actellic où les dégâts sont nuls quelque soit l'espèce d'insectes.

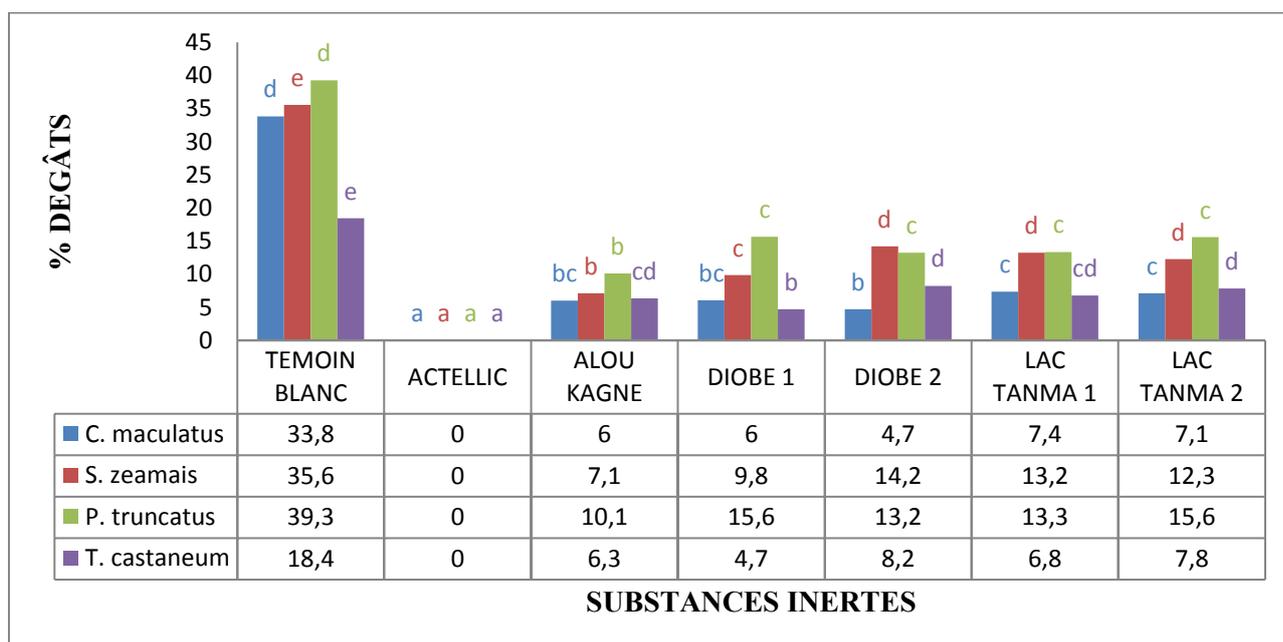


Figure 33: Efficacité des substances inertes d'Alou Kagne, Diobé 1, Diobé 2, Lac Tanma 1 et Lac Tanma 2 sur les dégâts causés par les insectes

Pour le même insecte, les pourcentages de dégâts suivis d'une même lettre ne présentent pas de différence significative au seuil de 5%

IV.4.3.4. Efficacité des différentes substances inertes sur les dégâts causés par les insectes en fonction du temps

Le tableau 16 montre que le lambda de Wilks (0,547) est associé à une p-value plus faible que le seuil de risque alpha (0,05).

Tableau 16: Test de Wilks (approximation de Rao): Effets des substances inertes sur les dégâts causés par les insectes après un, trois et six mois

| | Substances inertes*Durée |
|-----------------------|--------------------------|
| Lambda | 0,547 |
| F (Valeurs observées) | 2,098 |
| DDL1 | 32 |
| DDL2 | 378 |
| F (Valeurs observées) | 1,474 |
| p-value | 0,001 |

L'hypothèse nulle d'absence d'effet des substances inertes sur les dégâts causés par les insectes en fonction du temps peut être rejetée. Autrement dit, les substances inertes ont un effet protecteur qui varie en fonction du temps sur les dégâts causés par *C. maculatus*, *S. zeamais*, *P. truncatus* et *T. castaneum* sur du niébé ou du maïs.

Le tableau 17 montre l'efficacité des substances inertes d'Alou Kagne, Diobé 1, Diobé 2, Lac Tanma 1 et Lac Tanma 2 sur l'évolution des dégâts du niébé et du maïs causées par les espèces d'insectes après un, trois et six mois. *C. maculatus* commet des dégâts de l'ordre de 16 ; 37,2 et 48,3 % successivement en un, trois et six mois lorsque le niébé n'est pas protégé. Aucune attaque n'est enregistrée lorsque le niébé est protégé avec de l'actellic durant six mois. Cependant, *C. maculatus* commet des dégâts sur le niébé selon la substance inerte. En un mois, ils n'atteignent pas 3 % quelque soit la substance inerte protectrice avec des minima de 1,1 % au niveau d'Alou Kagne; en trois mois des dégâts de 7,3 % sont notés avec l'attapulгите de Lac Tanma 2 et en six mois ils sont de 13,7 % avec de l'attapulгите de Lac Tanma 1. Les dégâts commis par *S. zeamais* sont respectivement de 15,7 ; 31 et 60 % en un, trois et six mois sur du maïs non protégé. Alou Kagne est la substance inerte qui protège mieux le maïs avec des dégâts respectifs de 2,3 ; 5,9 et 10,1 % sur un, trois et six mois. L'attapulгите de Lac Tanma 1 protège moins le maïs des attaques de *S. zeamais* (6,3 ; 12,5 et 20,9 %) au cours du temps. Les attaques commises par *P. truncatus* après un, trois et six mois

sont respectivement de 25,7 ; 35,3 et 56,8 % lorsque le maïs n'est pas protégé. Avec la protection à l'actellic aucune attaque n'est enregistrée. Avec la protection des substances inertes, les attaques maximales en un, trois et six mois sont respectivement de 10,5 ; 15,3 et 20,9 % avec l'attapulгите de Lac Tanma 2. L'attapulгите d'Alou Kagne protège mieux le maïs des attaques de *P. truncatus* après un, trois et six mois (4,2 ; 8,8 et 11,2 %). Les attaques du maïs non protégé par *T. castaneum* sont de 8,3 ; 17,2 et 29,8 % en un, trois et six mois. Il apparaît que les dégâts évoluent en trois et six mois mais dépendent aussi de la substance inerte qui protège le maïs; les minima (1,8 ; 3,8 et 6,2 %) sont enregistrés avec l'attapulгите d'Alou Kagne et les maxima (4,2 ; 7,4 et 12 %) avec l'attapulгите de Lac Tanma 2 respectivement en un, trois et six mois. Les dégâts causés par les différentes espèces d'insectes sont moins élevés avec l'attapulгите d'Alou Kagne. Ils sont plus élevés au sixième mois. *S. zeamais* et *P. truncatus* sont les espèces qui commettent le maximum de dégâts dans les six mois lorsque les grains de maïs sont protégés avec les attapulгites de Lac Tanma 1 et Lac Tanma 2. Il ressort de ce tableau que comparativement au témoin blanc, les différentes substances inertes réduisent les attaques causées par les insectes. Cependant, leur efficacité est moindre par rapport à l'actellic au bout de six mois. Les dégâts causés par *C. maculatus*, *S. zeamais*, *P. truncatus* et *T. castaneum* en un, trois et six mois lorsque les substrats sont protégés par l'attapulгите d'Alou Kagne sont significativement différents (inférieurs) de ceux enregistrés au niveau de Diobé 1, Diobé 2, Lac Tanma 1 et Lac Tanma 2.

Tableau 17: Efficacité des substances inertes sur les dégâts causés par les insectes après un, trois et six mois

Pour le même insecte et même mois, les pourcentages de dégâts suivis d'une même lettre ne présentent pas de différence significative au seuil de 5%

| Insectes | <i>C. maculatus</i> | | | <i>S. zeamais</i> | | | <i>P. truncatus</i> | | | <i>T. castaneum</i> | | |
|-----------------|---------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|-------------------|---------------------|-------------------|-------------------|
| | 1 mois | 3 mois | 6 mois | 1 mois | 3 mois | 6 mois | 1 mois | 3 mois | 6 mois | 1 mois | 3 mois | 6 mois |
| TB | 16 ^d | 37,2 ^d | 48,3 ^e | 15,7 ^f | 31 ^f | 60 ^f | 25,7 ^c | 35,3 ^c | 56,8 ^d | 8,3 ^f | 17,2 ^e | 29,8 ^d |
| Actellic | 0 ^a | 0 ^a | 0 ^a | 0 ^a | 0 ^a | 0 ^a | 0 ^a | 0 ^a | 0 ^a | 0 ^a | 0 ^a | 0 ^a |
| AK | 1,1 ^{ab} | 3,6 ^b | 6 ^b | 2,3 ^b | 5,9 ^b | 10,1 ^b | 4,2 ^b | 8,8 ^b | 11,2 ^b | 1,8 ^b | 3,8 ^b | 6,2 ^b |
| DB1 | 2,6 ^c | 5,9 ^{bc} | 9,7 ^c | 3,2 ^c | 10,1 ^c | 16,3 ^c | 9,9 ^d | 16,9 ^d | 20 ^c | 2,5 ^c | 5,9 ^c | 10,4 ^c |
| DB2 | 1,6 ^b | 5,1 ^{bc} | 11,1 ^{cd} | 4,1 ^d | 15 ^e | 23,5 ^e | 9,3 ^d | 13,3 ^{bc} | 16,6 ^b | 2,6 ^c | 6,1 ^c | 11,4 ^c |
| LT1 | 1,2 ^{ab} | 7,1 ^c | 13,7 ^d | 6,3 ^e | 12,5 ^d | 20,9 ^{de} | 7,7 ^c | 12,6 ^b | 19,8 ^c | 3,4 ^d | 6 ^c | 10,9 ^c |
| LT2 | 1,8 ^b | 7,3 ^c | 12,9 ^d | 6,1 ^e | 11,6 ^{cd} | 19 ^d | 10,5 ^d | 15,3 ^{cd} | 20,9 ^c | 4,2 ^e | 7,4 ^d | 12 ^c |

S.I = Substance Inerte, TB = Témoin Blanc, AK = Alou Kagne ; DB1 = Diobé 1 ; DB2 = Diobé 2 ; LT1 = Lac Tanma 1 ; LT2 = Lac Tanma 2

IV.4.4. Estimation des pertes en poids causées par *C. maculatus*, *S. zeamais*, *P. truncatus* et *T. castaneum*

IV.4.4.1. Effets de la dose des différentes substances inertes sur les pertes pondérales occasionnées par les insectes

Le tableau 18 montre les effets de la dose de substances inertes d'Alou Kagne, Diobé 1, Diobé 2, Lac Tanma 1 et Lac Tanma 2 sur les pertes pondérales causées par *C. maculatus*, *S. zeamais*, *P. truncatus* et *T. castaneum*. Les pertes de niébé infesté par *C. maculatus* sont élevées au témoin D0 contrairement avec le niébé protégé par les différentes substances inertes où elles diminuent avec l'augmentation de la dose. A la dose D2 (1g), *C. maculatus* causent des pertes sur niébé significativement plus élevées qu'aux autres doses; les maxima de 5 % sont observés avec l'attapulгите de Lac Tanma 2. A la dose 5g (D5), les pertes sur niébé causées par *C. maculatus* n'atteignent pas 1 % avec des minima de 0,4 % à Alou Kagne. Les pertes dues à *S. zeamais* sur du maïs non protégé s'élèvent à 15% contrairement au maïs protégé à l'actellic où aucune perte n'est enregistrée. La dose D2 (1g) enregistre les plus grandes pertes lorsque le maïs est protégé avec les différentes substances inertes avec des maxima de 8,3% à Diobé 2 et des minima de 3,3% à Alou Kagne. La dose D5 s'avère la plus efficace avec des pertes minimales de 0,6 % à Alou Kagne et maximales de 2,4 % à Diobé 2. *P. truncatus* occasionne des pertes de maïs de 14,3 % lorsqu'aucune protection n'est faite. Ces pertes sont nulles lorsque le maïs est protégé avec l'actellic. Les résultats montrent que la dose D2 (1g) des substances inertes est la moins efficace avec des pertes minimales de 4,4% observées au niveau du sable siliceux Diobé 2 et des pertes maximales de 7% au niveau de l'attapulгите de Lac Tanma 2. A la dose D5, les pertes les plus importantes sont observées au niveau de Lac Tanma 2, soit 3,3%. *T. castaneum* occasionne moins de pertes que les trois autres espèces d'insectes. Elles sont de 5 % à la dose D0 et nulles à la dose D1. La dose D2 (1g de substances inertes) est la moins efficace des doses testées. A cette dose, les pertes maximales sont de 3,5% avec l'attapulгите de Lac Tanma 2. La dose D5 est la plus efficace des substances inertes avec des pertes maximales de 1,2 % avec les attapulгites de Lac Tanma 1 et Lac Tanma 2. *S. zeamais*, *P. truncatus* et *T. castaneum* causent moins de pertes sur maïs à la dose D5. Cette dose est significativement différente (plus efficace) des doses D2, D3 et D4 et a la même efficacité que l'actellic quelque soit la substance inerte appliquée.

Tableau 18: Efficacité de la dose des différentes substances inertes sur les pertes en poids causées par *C. maculatus*, *S. zeamais*, *P. truncatus* et *T. castaneum*

Pour le même insecte, les pourcentages de pertes suivies d'une même lettre ne présentent pas de différence significative au seuil de 5%

| | Alou Kagne | | | | Diobé 1 | | | | Diobé 2 | | | | Lac Tanma 1 | | | | Lac Tanma 2 | | | |
|-----------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | <i>C.m</i> | <i>S.z</i> | <i>P.t</i> | <i>T.c</i> | <i>C.m</i> | <i>S.z</i> | <i>P.t</i> | <i>T.c</i> | <i>C.m</i> | <i>S.z</i> | <i>P.t</i> | <i>T.c</i> | <i>C.m</i> | <i>S.z</i> | <i>P.t</i> | <i>T.c</i> | <i>C.m</i> | <i>S.z</i> | <i>P.t</i> | <i>T.c</i> |
| D0 | 11,5 ^d | 15,3 ^d | 14,9 ^d | 5,1 ^d | 11,5 ^d | 15,3 ^d | 14,9 ^d | 5,1 ^d | 11,5 ^c | 15,3 ^d | 14,9 ^d | 5,1 ^d | 11,5 ^d | 15,3 ^d | 14,9 ^d | 5,1 ^d | 11,5 ^d | 15,3 ^e | 14,8 ^d | 5,1 ^d |
| D1 | 0 ^a | 0 ^a | 0 ^a | 0 ^a | 0 ^a | 0 ^a | 0 ^a | 0 ^a | 0 ^a | 0 ^a | 0 ^a | 0 ^a | 0 ^a | 0 ^a | 0 ^a | 0 ^a | 0 ^a | 0 ^a | 0 ^a | 0 ^a |
| D2 | 3,3 ^c | 3,8 ^c | 6 ^c | 3,2 ^c | 3,2 ^c | 7 ^c | 6,4 ^c | 1,4 ^c | 3,4 ^b | 8,3 ^c | 4,4 ^c | 1,9 ^c | 4,5 ^c | 6,4 ^c | 6,6 ^c | 2,7 ^c | 5 ^c | 7 ^d | 7 ^c | 3,5 ^c |
| D3 | 1,9 ^b | 2,5 ^{bc} | 3,4 ^b | 1,7 ^b | 1,4 ^b | 3,4 ^b | 4,5 ^b | 1,2 ^{bc} | 1,2 ^a | 5,4 ^b | 3,3 ^b | 1,4 ^b | 2,6 ^b | 4,8 ^b | 4,8 ^{bc} | 1,9 ^{bc} | 1,9 ^b | 4,2 ^c | 4,7 ^b | 2,3 ^{bc} |
| D4 | 1,6 ^b | 1,5 ^{ab} | 2,7 ^b | 1,6 ^b | 1,3 ^b | 2,8 ^b | 4,3 ^b | 0,8 ^b | 1 ^a | 5,1 ^b | 2,7 ^b | 1,4 ^b | 2,3 ^b | 4,2 ^b | 3,6 ^b | 1,7 ^b | 2,1 ^b | 3 ^{bc} | 4,3 ^b | 2 ^b |
| D5 | 0,4 ^a | 0,6 ^a | 1,1 ^a | 0,7 ^a | 0,1 ^a | 0,6 ^a | 1,4 ^a | 0,4 ^a | 0 ^a | 2,4 ^a | 1,5 ^a | 0,7 ^a | 0,9 ^a | 1,8 ^a | 2,3 ^{ab} | 1,2 ^{ab} | 0,7 ^a | 1,8 ^{ab} | 3,3 ^a | 1,2 ^{ab} |

C. m = *Callosobruchus maculatus*; *S. z* = *Sitophilus zeamais*; *P. t* = *Prostephanus truncatus*; *T. c* = *Tribolium castaneum*

IV.4.4.2. Influence de la granulométrie des substances inertes sur les pertes pondérales causées par *C. maculatus*, *S. zeamais*, *P. truncatus* et *T. castaneum*

Les résultats de la figure 34 présentent l'influence de la granulométrie des substances inertes sur les pertes pondérales causées par les différentes espèces d'insectes. *C. maculatus*, *S. zeamais*, *P. truncatus* et *T. castaneum* occasionnent des pertes en poids respectives de 11, 15, 14 et 5 % au niveau des témoins tandis qu'avec l'actellic aucune perte n'est enregistrée. La granulométrie 1 mm des différentes substances inertes réduit moins les pertes que la granulométrie 0,3 mm. A 1 mm, les pertes maximales de 6,7 % sont causées par *P. truncatus* avec l'attapulгите Lac Tanma 2 tandis qu'à 0,3 mm elles sont de 4,4 % et causées par *S. zeamais* au niveau du sable siliceux Diobé 2. Les pertes sont significativement plus élevées avec la granulométrie 1 mm qu'avec 0,3 mm. Toutefois, la granulométrie 0,3 mm de l'attapulгите d'Alou Kagne n'est pas significativement différente de l'actellic. Elle a la même efficacité que ce dernier à réduire les pertes pondérales causées par toutes les espèces d'insectes.

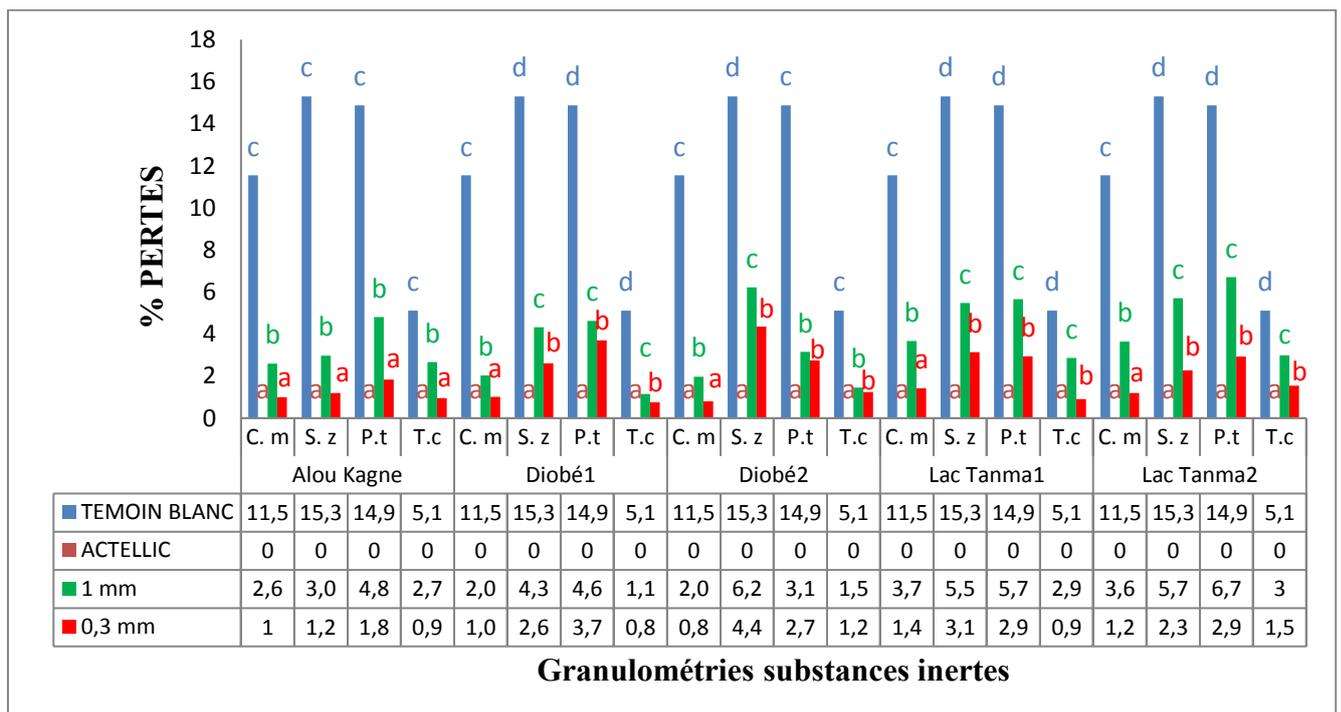


Figure 34: Influence de la granulométrie des différentes substances inertes sur les pertes pondérales causées par chaque insecte

Pour le même insecte, les pourcentages de pertes suivis d'une même lettre ne présentent pas de différence significative ($P \leq 5\%$)

IV.4.4.3. Impact des substances inertes sur les pertes en poids causées *C. maculatus*, *S. zeamais*, *P. truncatus* et *T. castaneum*

La figure 35 montre les effets des substances inertes sur les pertes dues par *C. maculatus*, *S. zeamais*, *P. truncatus* et *T. castaneum*. Alou Kagne enregistre moins de pertes par rapport aux autres substances inertes. Les pertes commises par *S. zeamais* et *P. truncatus* sont plus élevées que celles commises par *C. maculatus* et *T. castaneum*. Le maximum est de 5,3 % et est causé par *S. zeamais* traité avec Diobé 2. Toutefois, ces pertes varient selon la substance. Les pertes causées par *P. truncatus* sont significativement plus importantes avec Diobé 1, Lac Tanma1 et Lac Tanma 2 que celles d'Alou kagne et Diobé 2. Les pertes dues à *S. zeamais* sont significativement plus élevées avec Diobé 1, Diobé 2 et Lac Tanma 1 par rapport aux attapulgites d'Alou kagne. *C. maculatus* et *T. castaneum* causent des pertes qui sont significativement égales quelque soit la substance. *C. maculatus* cause des pertes qui s'élèvent à 11,5 % lorsque le niébé n'est pas protégé. Ces pertes n'atteignent pas les 2,5 % pour toutes les substances inertes et les moins importantes sont observées avec l'attapulgite d'Alou Kagne, soit 1,4 %. Sur le plan statistique, les différentes substances inertes présentent la même efficacité mais restent moins efficaces que l'actellic où aucune perte n'est notée. Les pertes dues à *S. zeamais* sur du maïs non protégé s'élèvent à 15,3 % contrairement au maïs protégé à l'actellic où aucune perte n'est enregistrée. Avec les substances inertes, *S. zeamais* occasionne les plus grandes pertes (5,4 %) avec le sable siliceux Diobé 2 et elles sont moindres avec l'attapulgite Alou Kagne (2,1 %). Statistiquement, l'attapulgite d'Alou Kagne réduit considérablement les pertes due à *S. zeamais* par rapport aux autres substances inertes mais elle est moins efficace que l'actellic. Sans protection, *P. truncatus* occasionne des pertes de 14,3 % sur maïs contre des pertes nulles avec l'actellic. Les pertes enregistrées avec Alou Kagne sont de 3,3 % et restent en dessous de 4,5 % lorsque le maïs est protégé avec Diobé 1, Diobé 2, Lac Tanma1 et Lac Tanma 2. *T. castaneum* occasionne moins de pertes sur du maïs que les deux autres espèces. Elles sont de 5 % à la dose D0 et nulles à la dose D1. L'attapulgite de Lac Tanma 2 est la moins efficace des substances inertes testées avec 2,3 % de pertes occasionnées par *T. castaneum*. Toutefois les différentes substances inertes comparativement au témoin réduisent les pertes dues aux différents insectes sur le niébé et le maïs mais elles sont moindres par rapport à l'actellic.

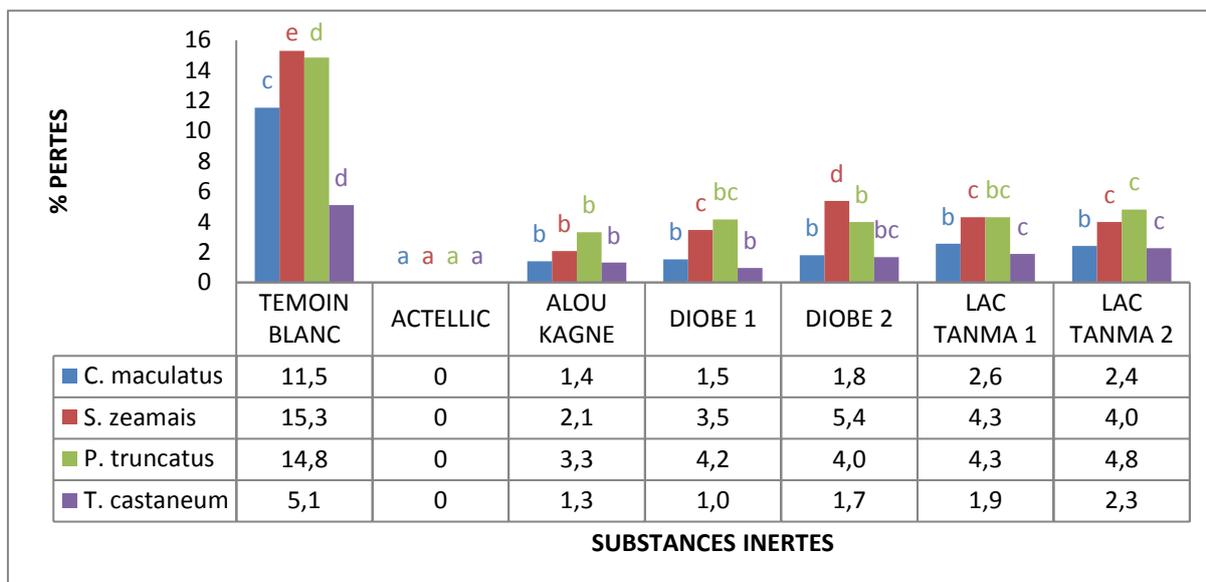


Figure 35: Effet des substances inertes sur les pertes pondérales causées par les différentes espèces d'insectes

Pour le même insecte, les pourcentages de pertes suivis d'une même lettre ne présentent pas de différence significative ($P \leq 5\%$)

IV.4.4.4. Incidence des substances inertes sur l'évolution des pertes pondérales du niébé et du maïs causées par les insectes

Le tableau 19 montre que le lambda de Wilks (0,456) est associé à une p-value plus faible que le seuil de risque alpha (0,05). Ce qui veut dire que l'hypothèse nulle d'absence d'effet protecteur de substances inertes sur les pertes causées par les insectes après un, trois et six mois de tests est rejetée.

Tableau 19: Test de Wilks (approximation de Rao): Effet protecteur des substances inertes sur l'évolution des pertes pondérales du maïs et du niébé causées par les différentes espèces d'insectes

| | Substances inertes*Durée |
|-----------------------|--------------------------|
| Lambda | 0,456 |
| F (Valeurs observées) | 2,803 |
| DDL1 | 32 |
| DDL2 | 378 |
| F (Valeurs observées) | 1,474 |
| p-value | < 0,0001 |

Les substances inertes ont un effet protecteur qui varie en fonction du temps sur les pertes en poids du maïs et du niébé causées par *C. maculatus*, *S. zeamais*, *P. truncatus* et *T. castaneum*. Le tableau 20 montre l'efficacité des substances inertes d'Alou Kagne, Diobé 1, Diobé 2, Lac Tanma 1 et Lac Tanma 2 sur l'évolution des pertes pondérales du niébé et du maïs causées par les espèces d'insectes après un, trois et six mois. *C. maculatus* cause des pertes de 5,6 ; 11,1 et 18 % sur un, trois et six mois lorsque le niébé n'est pas protégé ; avec l'actellic, il n'y a pas eu de perte durant six mois. Cependant, *C. maculatus* cause des pertes sur niébé de 1 % sur un mois quelque soit la substance inerte; en trois mois les pertes maximales sont de 2,3 % avec Lac Tanma 1 et 2. En six mois, les maxima sont de 5,2 % avec Lac Tanma 1. Les pertes dues à *S. zeamais* sont respectivement de 3,8 ; 12,8 et 29,2 % en un, trois et six mois au niveau du témoin. Avec les substances inertes, elles ne dépassent pas 1,3 % en un mois mais évoluent en trois et six mois pour atteindre respectivement des maxima de 5,4 et 9,6 % avec Diobé 2. Les pertes causées par *P. truncatus* après un, trois et six mois sont respectivement de 5,4 ; 14,2 et 24,9 % lorsque le maïs n'est pas protégé contre des pertes nulles avec l'actellic. Avec la protection des substances inertes, les pertes maximales en un mois sont de 2,1 % avec Lac Tanma 2 ; en trois mois les maxima sont enregistrées avec Diobé 1 soit 4,9 %. En six mois, ces pertes évoluent et atteignent 7,1 % avec Lac Tanma 2. Les pertes subies grâce aux attaques du maïs par *T. castaneum* sont de 2 ; 5 et 8 % en un, trois et six mois sans aucune protection. Au niveau des substances inertes, elles ne dépassent pas 1 % en un mois mais évoluent en trois et six mois avec des maxima de 2,2 et 3,7 % avec Lac Tanma 2. Les pertes commises par les différentes espèces d'insectes sont moins élevées avec l'attapulгите d'Alou Kagne contrairement aux quatre autres substances inertes. Les pertes sont plus élevées au sixième mois. *S. zeamais* est l'insecte qui commet le maximum de pertes durant ce temps avec Diobé 2. Les différentes substances inertes réduisent les pertes pondérales dues aux différentes espèces d'insectes. En un et trois mois, les attapulgites d'Alou Kagne et des sables siliceux Diobé 1 et Diobé 2 ont la même efficacité que l'actellic à réduire les pertes pondérales dues à *C. maculatus*, il en est de même pour le premier mois sur la réduction de *S. zeamais*, *P. truncatus* et *T. castaneum*. Cependant, leur efficacité est moindre par rapport à l'actellic en six mois.

Tableau 20: Efficacité des substances inertes sur les pertes en poids causées par les différentes espèces d'insectes après un, trois et six mois

Pour le même insecte et même mois, les pertes suivies d'une même lettre ne présentent pas de différence significative au seuil de 5%

| Insectes | <i>C. maculatus</i> | | | <i>S. zeamais</i> | | | <i>P. truncatus</i> | | | <i>T. castaneum</i> | | |
|-----------------|---------------------|-------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|---------------------|-------------------|-------------------|---------------------|------------------|------------------|
| | 1 mois | 3 mois | 6 mois | 1 mois | 3 mois | 6 mois | 1 mois | 3 mois | 6 mois | 1 mois | 3 mois | 6 mois |
| TB | 5,6 ^c | 11,1 ^d | 18 ^d | 3,8 ^d | 12,8 ^e | 29,2 ^e | 5,4 ^d | 14,2 ^f | 24,9 ^e | 2 ^e | 5,4 ^f | 8 ^e |
| Actellic | 0 ^a | 0 ^a | 0 ^a | 0 ^a | 0 ^a | 0 ^a | 0 ^a | 0 ^a | 0 ^a | 0 ^a | 0 ^a | 0 ^a |
| AK | 0,2 ^{ab} | 1,3 ^{ab} | 2,6 ^b | 0,4 ^{ab} | 1,4 ^b | 4,5 ^b | 0,8 ^{ab} | 2,9 ^b | 4,2 ^b | 0,4 ^{ab} | 0,8 ^b | 1,7 ^b |
| DB1 | 0,5 ^b | 1,4 ^{ab} | 2,7 ^b | 0,7 ^b | 3,4 ^c | 6,2 ^c | 1,9 ^c | 4,9 ^{de} | 5,8 ^c | 0,5 ^{ab} | 1,2 ^c | 2,3 ^c |
| DB2 | 0,3 ^{ab} | 1,4 ^{ab} | 3,6 ^b | 0,8 ^b | 5,4 ^d | 9,6 ^d | 1,8 ^c | 3,6 ^c | 5,5 ^c | 0,5 ^b | 1,7 ^d | 3,2 ^d |
| LT1 | 0,2 ^{ab} | 2,3 ^c | 5,2 ^c | 1,3 ^c | 4,1 ^c | 7,5 ^c | 1,4 ^b | 4,2 ^{cd} | 7,2 ^d | 0,7 ^c | 1,8 ^d | 3,3 ^d |
| LT2 | 0,3 ^{ab} | 2,3 ^c | 4,8 ^c | 1,3 ^c | 3,7 ^c | 7 ^c | 2,1 ^c | 5,2 ^e | 7,1 ^d | 0,9 ^d | 2,2 ^e | 3,7 ^d |

S.I = Substance Inerte; TB = Témoin Blanc (non traité); AK = Alou Kagne; DB1 = Diobé 1; DB2 = Diobé 2; LT1 = Lac Tanma 1; LT2 = Lac Tanma 2

IV.5. Discussion

Les résultats obtenus dans cette étude ont montré que les cinq substances inertes présentent des propriétés insecticides intéressantes à l'égard de *C. maculatus*, *S. zeamais*, *P. truncatus* et de *T. castaneum*. Ces substances ont un effet sur la mortalité des quatre espèces d'insectes, une influence sur leur émergence, mais aussi un impact sur les dégâts et pertes en poids des grains qu'ils occasionnent. Ces effets sont fortement en rapport avec la dose, la granulométrie, le type de substances inertes et la durée de stockage des grains.

Il a été établi l'importance de la finesse des particules sur leur efficacité. En effet, les particules de 0,3 mm ont donné de bien meilleurs résultats que celles de 1 mm. Parkin (1944) cité par Mahdi et Khalequzzaman (2006) a constaté que le meilleur contrôle de la calandre des grains (*Sitophilus granarius*) dans l'entreposage des céréales était possible avec de la poussière de quartz de 0,5 μm à raison de 1 % de la masse de grain alors que les diamètres de particules testées s'échelonnait de 0,5 à 15 μm . Selon De Luca (1981), puis Korunic (1997), l'adhérence des particules de poudres inertes au substrat ou à la cuticule de l'insecte varie inversement avec leur diamètre, donc croît avec la diminution de leur taille ; d'où l'augmentation de leur activité insecticide.

L'efficacité des substances inertes est aussi fonction de la dose appliquée. Les doses les plus élevées des différentes substances inertes ont donné les meilleurs résultats. Fabiane et Sonia (2005) ont montré que l'augmentation de la dose de la terre à diatomées affecte la mortalité de *S. zeamais*. Il en est de même de Lorini et Schneider (1994) qui en obtenant respectivement 19, 87 et 100 % de mortalité de *S. oryzae* aux doses de 500, 750 et 1000 mg/kg de terre à diatomées en sept jours ont conclu que la dose joue un rôle important pour l'efficacité d'une substance inerte. Les travaux de Doumbia *et al.* (2014) sur l'efficacité de la terre à diatomées ont montré que la dose la plus élevée cause la même mortalité chez *T. castaneum* que l'actellic super dust, soit 100 %.

La mortalité des différentes espèces d'insectes est corrélée à la nature de la substance inerte. Une forte mortalité de *C. maculatus* avec le sable siliceux de Diobé 1 et les attapulgites d'Alou Kagne a été notée. Les mêmes performances sont quasiment notées avec *S. zeamais*. Ce dernier tout comme *P. truncatus* et *T. castaneum* sont, en outre, particulièrement sensibles aux attapulgites d'Alou Kagne où il est noté une plus forte mortalité avec la plus fine granulométrie qui est de 0,3 mm. Les sables siliceux de Diobé 1 et 2, les attapulgites d'Alou Kagne et de Lac Tanma 1 et 2 appliquées causent des mortalités plus ou moins élevées selon l'espèce d'insectes. Ces substances éroderaient la couche de cires cuticulaires des insectes

puis la cuticule proprement dite conduisant à la mort de l'insecte par dessiccation ou agiraient en bloquant les orifices respiratoires des insectes qui finissent par mourir suite à une asphyxie. Par ailleurs, cette action physique est commune pour la plupart des substances inertes (Korunic, 1998). Cependant les attapulgites d'Alou Kagne malgré leur teneur en SiO₂ inférieure à celle de Diobé 1, Diobé 2 et Lac Tanma se sont montrées plus efficaces pour les quatre espèces d'insectes; ce qui découlerait probablement d'une différence de propriétés physiques. Selon (Korunic, 1998), l'efficacité des substances inertes dépend des propriétés physiques de la poudre et non de leur composition chimique. La poudre des attapulgites d'Alou Kagne contiendrait de fines particules élevées et plus poreuses qui lui permettrait d'être plus concentrée que les autres substances inertes, d'où son efficacité sur la mortalité des différentes espèces d'insectes.

L'efficacité relative des différentes substances inertes testées sur les espèces de coléoptères indique que tous les insectes n'ont pas la même sensibilité. Cette différence de sensibilité pourrait dépendre de la morphologie et de la physiologie des différentes espèces d'insectes. *C. maculatus* est l'espèce la plus sensible quelque soit la dose et la granulométrie de la substance inerte appliquée. En effet, du point de vue morphologie, *C. maculatus* a une plus grande taille et offre donc plus de contact avec les substances inertes. De plus, cet insecte a des élytres qui ne recouvrent pas toute la partie de son abdomen, ceci faciliterait l'effet de la substance en augmentant la surface de contact. Contrairement à *C. maculatus*, les autres insectes ont des élytres plus larges qui recouvrent leurs abdomens. La différence pourrait être aussi au niveau de leur cuticule et/ou de leur comportement. En effet, *P. truncatus* vit à l'intérieur des grains où il creuse des tunnels en produisant une grande quantité de poussières qui peut entraver considérablement l'efficacité des substances inertes (Mulungu *et al.*, 2010). Il en est de même des adultes de *S. zeamais*. La cuticule des insectes n'a pas la même texture. *T. castaneum* a une cuticule lisse, ce qui ne favoriserait pas une bonne adhésion des substances inertes sur cet insecte contrairement à *S. zeamais*. Une étude de Conceição *et al.* (2011) a révélé une mortalité de *T. castaneum* supérieure à celle de *R. dominica* sur du blé mélangé à la terre à diatomées. D'après ces auteurs, cette différence pourrait être expliquée par le fait que *R. dominica* aurait une faible mobilité comparée à *T. castaneum* par conséquent moins exposé à l'effet desséchant de la terre à diatomées. Cette faible mobilité est liée à la morphologie de l'insecte, en effet *R. dominica* a des jambes courtes et par conséquent il marche lentement comparé aux autres espèces telles que *T. castaneum*.

Le test sur l'émergence des insectes a montré des résultats très probants surtout à la dose de 4g et la granulométrie 0,3 mm. Le nombre moyen d'émergences évolue en sens contraire de la

dose et de la granulométrie. Le type de substance inerte, la mortalité des insectes et le temps de stockage sont aussi d'importance. *C. maculatus* émerge moins que *S. zeamais*, *P. truncatus* et *T. castaneum*. Cette différence pourrait être due par le fait que les adultes de *C. maculatus*, étant trop sensibles aux substances inertes, meurent très vite sous l'effet combiné de la dessiccation et de l'asphyxie. De ce fait, les adultes n'auront pas le temps de pondre des œufs d'où une diminution considérable de l'émergence ou que l'adhérence des œufs aux grains soit largement affectée. Tout le cycle de développement de *S. zeamais* et *P. Truncatus* se passe à l'intérieur des grains, ce qui les protège quelque peu de l'effet des poudres insecticides. Shayesth et Ziaee (2007) ont montré que les larves de *T. castaneum* sont beaucoup plus sensibles à la dessiccation qu'aux adultes sur du blé traité avec Silicosec. En effet, la faculté des substances inertes à tuer les adultes de la première génération joue un rôle primordial dans le niveau d'infestation des stocks, surtout si la durée de stockage est longue. Athanassiou *et al.* (2003) ont montré sur le riz, le maïs et le blé d'importantes variations dans l'efficacité de SilicoSec une formulation de terre à diatomées d'origine d'eau douce composée de 92 % de silice contre *S. oryzae* avec des doses allant de 0,125 à 1,5 g/kg selon le type de grains, le temps d'exposition et la dose. La réduction du nombre d'insectes émergés s'expliquerait par la mortalité des adultes causée par l'effet des substances inertes. Les substances inertes en adhérant à la cuticule des insectes, les empêcheraient de s'accoupler dans de bonnes conditions. Selon Rohitha *et al.* (2003), l'action adhésive et déshydratante des substances inertes affaiblit l'insecte en empêchant l'accouplement.

La diminution des dégâts et des pertes pondérales résultent de la faible longévité des insectes. *P. truncatus* et *S. zeamais*, étant les insectes les plus résistants aux substances inertes, ont provoqué les dégâts et les pertes les plus importants. Les pertes ont ainsi évolué parallèlement à la sévérité de l'infestation. La dose de 4 g et la granulométrie 0,3 mm des substances inertes ont permis de réduire les dommages et les pertes pondérales en six mois. Les émergences, dégâts et pertes pondérales commis par les différentes espèces d'insectes augmentent avec le temps de stockage au niveau du témoin et des différentes substances inertes. Ceci peut s'expliquer soit par l'augmentation de la population d'insectes vivants, soit par une perte d'efficacité des substances inertes avec le temps. Selon Tuluker et Howse (1994), les substances inertes perdent leur efficacité insecticide lorsque la durée de conservation des denrées augmente.

IV.6. Conclusion

L'application de substances inertes contre *C. maculatus*, *S. zeamais*, *P. truncatus* et *T. castaneum* a montré des résultats probants. Leur efficacité dépend de la finesse des particules, de la dose appliquée, du type de substance inerte, du temps d'exposition et de la sensibilité des espèces. La granulométrie de la substance inerte s'est révélée très importante. En effet, avec un diamètre des particules de substances inertes égal à 0,3 mm, la reproduction des insectes est fortement affectée et subséquemment les dégâts et pertes tendent vers zéro quand les doses augmentent. A la dose 4g qui est la plus élevée, les insectes meurent plus lorsqu'ils sont en contact avec les différentes substances inertes. *C. maculatus* est l'espèce la plus sensible. Les différentes substances inertes, à la dose 4 g et à la granulométrie 0,3 mm causent plus de mortalités, par conséquent sont plus efficaces sur cet insecte. Des performances semblables avec celles de l'actellic ont été notées sur la limitation de la reproduction de *C. maculatus*, des dégâts et des pertes en poids causés par cet insecte avec l'application des différentes substances inertes et en particulier l'attapulgite d'Alou Kagne. *S. zeamais*, *P. truncatus* et *T. castaneum* se sont révélés moins sensibles au traitement avec les substances inertes; néanmoins, l'augmentation de la dose appliquée et la finesse de la granulométrie des substances inertes entraînent une diminution de l'activité dévastatrice des trois insectes. Les grains de maïs et graines de niébé traités avec les différentes substances ont plus ou moins conservé leur viabilité après six mois de stockage. Ainsi, dans une perspective de gestion intégrée des ravageurs de maïs et niébé stockés, les substances inertes d'Alou Kagne, Diobé 1, Diobé 2, Lac Tanma 1 et Lac Tanma 2 à des doses de 4 g ou plus, et des granulométries plus fines ($\leq 0,3$ mm) devraient circonscrire l'action de tous les ravageurs et permettre ainsi une conservation saine du maïs et du niébé. A la lumière des résultats acquis, nous pouvons envisager la substitution des pesticides de synthèse dans la conservation des stocks de maïs et de niébé, particulièrement de semences, par l'application des substances inertes, surtout les attapulgites d'Alou Kagne.

CHAPITRE V: EFFICACITE DU BROyat D'EPIS SECS DE MAÏS DANS LA CONSERVATION DES GRAINS DE MAÏS CONTRE TROIS INSECTES RAVAGEURS DU MAÏS AU SENEGAL

V.1. Introduction

Le maïs est la troisième culture céréalière après le mil et le riz et représente en moyenne 12 % des céréales produites au Sénégal entre 2011 et 2013. En 10 ans, entre 2002 et 2012, sa production a triplé, passant de 80 000 tonnes à 240 000 tonnes (Gergely *et al.*, 2014). Au Sénégal, le principal déprédateur identifié du maïs est le charançon *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Guèye *et al.*, 2013). Cependant, *Prostephanus truncatus* (Horn), ravageur primaire du maïs et du manioc, est découvert au Sénégal récemment dans des stocks de maïs localisés dans le sud-est du pays (Guèye *et al.*, 2008). *P. truncatus* est réputé pour sa grande voracité du fait que l'adulte et la larve s'alimentent; en outre, le forage des adultes, plus destructeur que leur consommation, ainsi que leur adaptation au bois des greniers font de cette espèce le plus redoutable des ravageurs du maïs. Les efforts de lutte contre les déprédateurs du maïs se sont ainsi davantage focalisés sur *S. zeamais* et *P. truncatus*. Dans ce cadre, Benhalima *et al.* (2004) rapportent la découverte au Maroc de souches de *S. zeamais* tolérantes à la phosphine, produit réputé efficace. En effet, les espèces du genre *Sitophilus* sont parmi celles qui sont les plus citées dans la résistance aux pesticides. Pour limiter l'activité de ces ravageurs et les pertes qu'ils occasionnent, l'usage de pesticides chimiques est couramment utilisé. Cependant, leur utilisation provoque de nombreux effets indésirables tels que l'intoxication chronique des consommateurs, l'apparition de souches résistantes chez les ravageurs (Schuster *et al.*, 2007) et un impact négatif sur l'environnement (Fianko *et al.*, 2011). Tous ces griefs imposent la recherche d'alternatives moins polluantes. Parmi celles-ci, l'utilisation de substances végétales constitue une piste intéressante car peu coûteuse et respectueuse de l'environnement (Regnault-Roger *et al.*, 2008; Gueye *et al.*, 2011). A cet effet, des travaux récents de Guèye *et al.* (2012) révèlent l'efficacité de broyat d'épis de maïs sur *S. zeamais*.

L'objectif de la présente étude est de tester l'efficacité au laboratoire pour apprécier le spectre d'action du broyat d'épis secs de maïs et de la poudre atomisée de ce broyat sur trois espèces d'insectes comme alternative aux pesticides de synthèse. Pour ce faire, différentes granulométries et la poudre atomisée sont testées sur *S. zeamais*, *P. truncatus* et *T. castaneum*

à différentes doses d'une part et d'autre part, leur efficacité est comparée à l'actellic, pesticide de synthèse recommandé pour le traitement de denrées stockées.

V.2. Matériel

V.2.1. Matériel végétal

V.2.1.1. Le maïs

Le maïs utilisé a été acheté à Dakar au marché de Castor. Il est tamisé et bien trié pour enlever les grains en mauvais état. A la suite de cette opération, les grains sains sont séchés pendant deux jours pour empêcher le développement de moisissures avant d'être congelés à -4° C pendant une semaine. Ainsi, toute infestation insidieuse est éliminée. La masse expérimentale est conservée dans des sachets en polyéthylène.

V.2.1.2. Broyat d'épis de maïs

Après avoir égrené le maïs, les rafles sont par la suite séchées puis moulues jusqu'à l'obtention d'une poudre qui est par la suite tamisée (voir fiche technique de l'obtention du broyat d'épis de maïs en annexe 3). Ce sont les refus des tamis de 0,5 et 0,2 mm de diamètre les doses 4 g, 6 g, 10 g et 12 g qui sont retenus dans l'étude. Les poudres obtenues sont conservées dans des pots dans les conditions ambiantes de température et d'humidité du laboratoire.

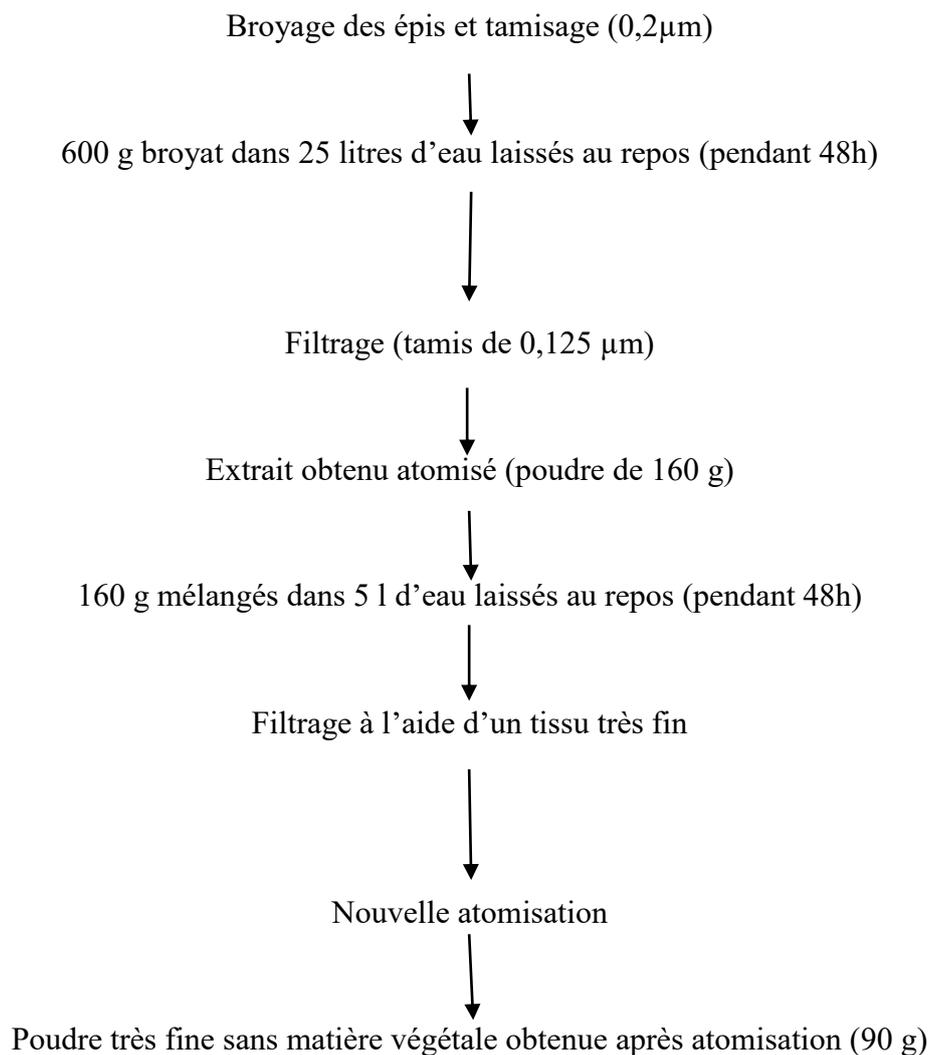
V.2.1.3. Broyat d'épis de maïs atomisé

Le but de l'atomisation est d'obtenir une poudre très fine à partir du broyat d'épis de maïs. Le séchage par atomisation consiste en la production de poudres qui se propagent très fortement à partir d'un liquide par évaporation du solvant. Cette opération est obtenue en mélangeant un gaz chauffé à un liquide atomisé (vaporisé) de gouttelettes présentant un rapport masse / surface élevé, idéalement de taille égale, au sein d'une cuve (chambre de séchage), provoquant ainsi l'évaporation du solvant de manière uniforme et rapide par contact direct.

Pour ce faire, les épis secs de maïs sont moulus et tamisés, à l'aide d'un tamis de diamètre 0,2mm. Cent vingt (120) grammes de broyat sont obtenus, dilués dans cinq litres d'eau et laissés au repos pendant 48h. L'opération est répétée cinq fois, ce qui permet d'obtenir 600grammes de poudre. La solution est par la suite atomisée à l'aide d'un atomiseur NIRO 6.3.

La poudre atomisée obtenue est une fois de plus diluée dans 5 litres d'eau et laissée une fois de plus au repos pendant 48 h avant d'être à nouveau atomisée en vue de l'obtention du produit final. La solution est fine, homogène et exempte de toutes impuretés. L'atomisation de la solution a été faite à la fréquence de 45,8 Hz, avec une température de l'air stable à 185°C à l'entrée et 80°C à la sortie avec une vitesse de la turbine à 15 000 tours/minute et un débit d'air (ddp au cyclone en KPa) égal à 1,5. Le processus est ci-dessous schématisé.

- Processus de l'atomisation



A la fin de l'opération, une poudre bien fine est recueillie. Pour les cinq répétitions nous obtenons 90 g. Quatre doses différentes de cette poudre sont déterminées à partir des doses d'épis de maïs broyés (4 g, 6 g, 10 g et 12 g); elles sont obtenues de la façon suivante:

- Pour 600 g (broyat d'épis) → 90 g (poudre atomisé)

$$4 \text{ g (broyat d'épis)} \longrightarrow x = \frac{4 \times 90}{600} = 0,6\text{g}$$

Pour 4 g d'extrait de broyat, nous obtenons 0,6 g de poudre atomisée;
 pour 8 g d'extrait de broyat, nous obtenons 1,2 g de poudre atomisée;
 pour 10 g d'extrait de broyat, nous obtenons 1,5 g de poudre atomisée;
 pour 12 g d'extrait de broyat, nous obtenons 1,8 g de poudre atomisée.

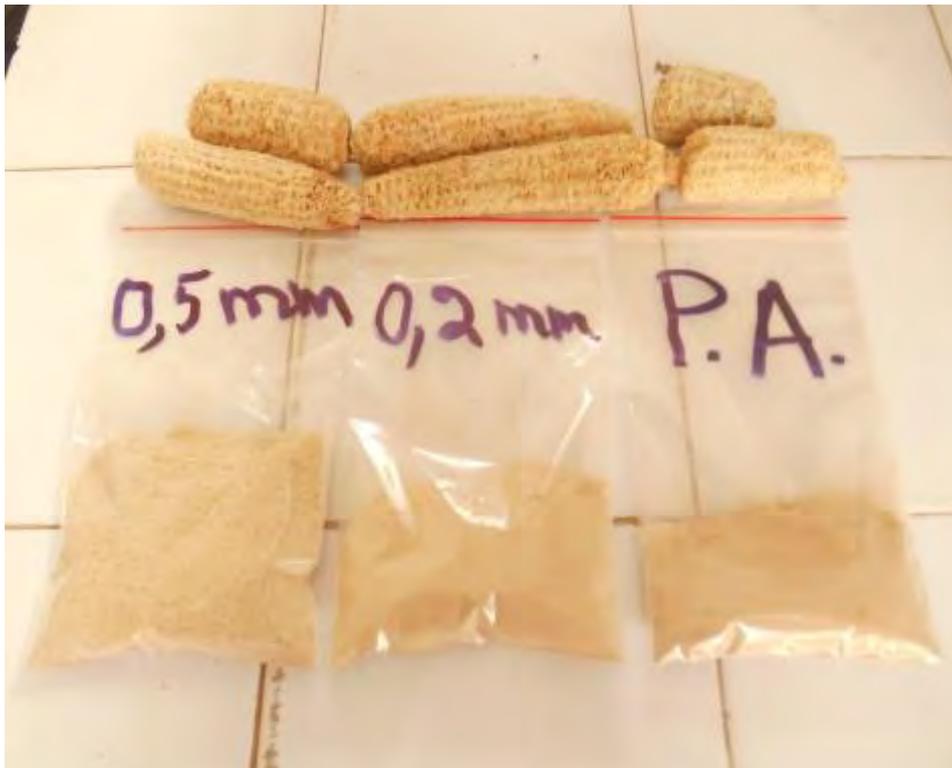


Figure 36: Broyat (0,5 et 0,2 mm) et poudre atomisée (P.A.) d'épis de maïs

V.2.2. Les insectes

Les souches de *S. zeamais*, *P. truncatus* et *T. castaneum* utilisées pour cette étude viennent d'un élevage de masse d'individus émergents de maïs en provenance de Kolda et maintenues au laboratoire depuis plusieurs générations. Les individus utilisés sont âgés de 1 à 4 jours et ne sont pas sexés.

V.2.3. Matériel chimique

Le produit chimique utilisé est l'Actellic Super Dust, un insecticide composé de 16 g/kg de Pirimiphos-méthyl et de 3 g/kg de Perméthrine. Il est utilisé à la fois comme curatif et préventif pour le stockage des céréales et légumineuses. Afin de combiner les avantages des

organophosphorés et ceux des pyréthriinoïdes de synthèse, actellic Super Dust est utilisé contre des complexes de ravageurs comme les charançons (espèces *Sitophilus*) et le Grand Capucin du Maïs, *P. truncatus*. Il a une durée de persistance de plus de six mois. Il a été utilisé comme témoin à la dose recommandée (50 g/100 kg); ce qui veut dire 0,125 g d'actellic pour 250 g de grains de maïs.

V.3. Méthodes

V.3.1. Méthodologie

Des bocaux en verre d'une contenance d'un litre sont remplis chacun de 250 g de grains sains de maïs. Des doses de 4 g, 8 g, 10 g et 12 g de broyat d'épis de maïs aux granulométries 0,5 et 0,2 mm et les quantités de poudres de broyat d'épis de maïs atomisé de 0,6 g ; 1,2 g ; 1,5 g et 1,8 g ont été ajoutées au maïs (250 g) contenu dans les bocaux selon les cas. Des pots à 0,125 g d'actellic constituent le témoin positif. Le mélange maïs/poudre est secoué pendant 2 minutes afin de permettre une répartition uniforme des poudres insecticides sur le substrat et laissé au repos pendant 7 minutes. Des lots de 20 insectes non sexés âgés de 1 à 2 jours sont introduits dans chacun des bocaux. Ensuite, les bocaux sont recouverts d'une toile fine pour empêcher la sortie de ces derniers puis fermés avec des couvercles perforés afin de permettre les échanges gazeux. Quatre lots sans poudre insecticide constitués de 250 g de maïs et de 20 insectes par bocal ont servi de témoins. Les bocaux ont été conservés dans les conditions ambiantes du laboratoire. Quatre répétitions ont été réalisées pour chaque dose des différentes poudres.

V.3.2. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental utilisé est un dispositif en blocs complets totalement randomisé avec 14 pots en verre répété quatre fois (R0, R1, R2, R3). Deux témoins dont un traité à l'actellic et un non traité tous répétés quatre fois sont en outre mis en place.

Le dispositif expérimental utilisé est présenté dans le tableau ci-dessous.

Tableau 21: Dispositif expérimental

| Traitements | DOSE (g/250 g de maïs) | GRANULOMETRIE (mm) |
|-----------------|---------------------------|--------------------|
| T ₁ | Témoin | _____ |
| T ₂ | Témoin positif (actellic) | _____ |
| T ₃ | 4g | 0,5 mm |
| T ₄ | 4g | 0,2 mm |
| T ₅ | 0,6g | Produit atomisé |
| T ₆ | 8g | 0,5 mm |
| T ₇ | 8g | 0,2 mm |
| T ₈ | 1,2g | Produit atomisé |
| T ₉ | 10g | 0,5 mm |
| T ₁₀ | 10g | 0,2 mm |
| T ₁₁ | 1,5g | Produit atomisé |
| T ₁₂ | 12g | 0,5 mm |
| T ₁₃ | 12g | 0,2 mm |
| T ₁₄ | 1,8g | Produit atomisé |

V.3.3. Évaluation de l'impact du broyat et de la poudre d'épis de maïs sur la mortalité de *S. zeamais*, *P. truncatus* et *T. castaneum*

Il s'agit du suivi de la mortalité des insectes durant quatorze jours afin d'évaluer la toxicité des épis de maïs broyés d'une part et atomisés d'autre part. Le comptage des morts et des rescapés est effectué de façon journalière par tamisage du maïs de chaque bocal. Les adultes morts sont retirés des pots puis le mélange maïs broyat est homogénéisé à nouveau avant la réintroduction des rescapés.

V.3.4. Effets du broyat d'épis de maïs et de la poudre atomisée sur la réduction de l'émergence de *S. zeamais*, *P. truncatus* et *T. castaneum* après un et trois mois

Le maïs de chaque bocal est débarrassé des insectes survivants et de la poudre au quatorzième jour post-infestation. Ces bocaux sont conservés dans les conditions du laboratoire. Au 28^{ème} jour post-infestation, les insectes émergés sont comptés. Le comptage se fait chaque jour à partir du 28^{ème} jour après infestation et ceci pendant trois jours ; ce qui fait 30 jours soit un mois. Après l'évaluation de la F₁, tous les insectes sont retirés, seuls les grains de maïs restent dans les bocaux afin d'évaluer à nouveau les insectes émergés au bout de trois mois.

V.3.5. Estimation des dégâts et des pertes

L'évaluation des dégâts et pertes s'est faite après un mois et trois mois. A la suite du suivi du nombre de descendants à la F₁ après 1 mois, les dégâts et les pertes causés par les différentes espèces d'insectes ont été évalués. Cent (100) grains de maïs de chaque échantillon (bocal) pris au hasard sont comptés puis pesés; l'opération est répétée trois fois. De même, les grains attaqués sont comptés puis pesés. Le nombre de grains attaqués, de grains sains et leurs poids sont notés. La moyenne des trois répétitions pour chaque échantillon est calculée. Le même procédé est appliqué pour évaluer les dégâts au bout de trois mois.

Le pourcentage de dégâts D (%) est déterminé en faisant le rapport du nombre de grains endommagés sur le nombre total de grains:

$$\% \text{ Dégâts} = \frac{\text{Nombre de grains endommagés}}{\text{Nombre total de grains}} \times 100$$

Le pourcentage de pertes est calculé suivant la formule de Boxall (1986):

$$\% \text{ Pertes} = \frac{(E \times B) - (C \times D)}{E \times A} \times 100$$

Où *A* = nombre total de grains; *B* = nombre de grains attaqués; *C* = nombre total de grains sains; *D* = poids de grains endommagés attaqués; *E* = poids de grains sains

V.3.6. Analyses statistiques

Une analyse de variance (ANOVA) suivie d'un test de comparaison multiple (Test de Bonferroni) est effectuée sur XLSTAT 6.1.9 avec comme paramètres à analyser le pourcentage de mortalité durant 14 jours de *S. zeamais*, *P. truncatus* et *T. castaneum* en

fonction de la dose et de la granulométrie des produits. Le nombre d'insectes émergents, les pourcentages de dégâts et de pertes pondérales durant respectivement un et trois mois de *S. zeamais*, *P. truncatus* et *T. castaneum* en fonction de la dose et de la granulométrie des produits. La formule d'Abbott (Abbott, 1925) est utilisée pour corriger la mortalité dans le témoin non traité avant l'application de l'ANOVA.

V.4. Résultats

V.4.1. Suivi de la mortalité des insectes

Le tableau 22 présente l'efficacité insecticide du broyat des rafles d'épis de maïs et de la poudre atomisée sur *S. zeamais*, *P. truncatus* et *T. castaneum*. Les résultats montrent une efficacité totale (100 %) au niveau du traitement à l'actellic T₂ contrairement au témoin (T₁) où aucune mortalité n'a été enregistrée durant les quatorze jours. Les taux les plus élevés de mortalité sont observés avec T₁₃ (dose 12 g / granulométrie 0,2 mm). Ils sont de $6,2 \pm 3,8$ % pour *S. zeamais* ; $6 \pm 3,4$ % pour *P. truncatus* et $5 \pm 1,8$ % pour *T. castaneum*. Le traitement T₁₀ (dose 10g de granulométrie 0,2 mm) suit T₁₃. Par contre le traitement T₅ (0,6g de la poudre atomisée) qui est l'équivalent des traitements T₃ et T₄ est le moins efficace avec un taux de mortalité de $1,5 \pm 1,1$ pour *S. zeamais*, $1,6 \pm 1,1$ % pour *P. truncatus* et $1,3 \pm 1,3$ % pour *T. castaneum*. Le broyat et la poudre atomisée d'épis de maïs ont une faible influence sur la mortalité de *S. zeamais*, *P. truncatus* et *T. castaneum*. Les mortalités les plus élevées ne dépassent guère 7 % contrairement à l'actellic.

Tableau 22: Influence du broyat et de la poudre atomisée d'épis secs de maïs sur la mortalité des insectes adultes

Les pourcentages de mortalité d'une même colonne (même insecte) suivis de lettre(s) identique(s) ne sont pas significativement différents au seuil 0,05

| Traitements | <i>S. zeamais</i> | <i>P. truncatus</i> | <i>T. castaneum</i> |
|-----------------|-------------------------|---------------------------|--------------------------|
| T ₁ | 0±0 ^h | 0±0 ^h | 0±0 ^h |
| T ₂ | 100±0 ^a | 100±0 ^a | 100 ± 0 ^a |
| T ₃ | 3,2±2,8 ^{defg} | 2,9±2,7 ^{defg} | 2,5±2,5 ^{efg} |
| T ₄ | 3,9±2,4 ^{cde} | 4,02±2,2 ^{bcdef} | 3,5±2,2 ^{bcdef} |
| T ₅ | 1,5±1,1 ^{gh} | 1,6±1,1 ^{gh} | 1,3±1,3 ^{gh} |
| T ₆ | 3,8±2,5 ^{cdef} | 3,9±2,1 ^{bcdef} | 2,9±2,6 ^{defg} |
| T ₇ | 5,1±1,9 ^{bcd} | 4,8±2,8 ^{bcd} | 4,5±1,9 ^{bcd} |
| T ₈ | 1,9±1,3 ^{fgh} | 2,5±1,4 ^{efg} | 1,5±1,3 ^{gh} |
| T ₉ | 4,1±2,9 ^{cde} | 3,9±2,8 ^{cdef} | 3,3±2,6 ^{cdef} |
| T ₁₀ | 5,5±3,1 ^{bc} | 5,3±3,1 ^{bc} | 4,6±2,3 ^{bc} |
| T ₁₁ | 2,1±1,5 ^{efg} | 2,3±1,4 ^{fg} | 1,88±1,41 ^{fg} |
| T ₁₂ | 4,8±2,4 ^{bcd} | 4,6±2,8 ^{bcde} | 3,8±2,3 ^{bcde} |
| T ₁₃ | 6,2±3,8 ^b | 6±3,4 ^b | 5 ± 1,8 ^b |
| T ₁₄ | 3,3±1,4 ^{defg} | 3,2±1,6 ^{cdefg} | 2,2±1,6 ^{efg} |

V.4.2. Effets des extraits du broyat et de la poudre atomisée d'épis secs de maïs sur la réduction de l'émergence de *S. zeamais*, *P. truncatus* et *T. castaneum* après un et trois mois.

Le tableau 23 présente l'efficacité des extraits de broyat d'épis de maïs et de la poudre atomisée sur la réduction des émergences de *S. zeamais*, *P. truncatus* et *T. castaneum* après un et trois mois. Les témoins enregistrent significativement les plus grandes émergences à des niveaux différents entre les trois insectes. *P. truncatus* a le nombre moyen d'émergents le plus élevé qui varie de $71,3 \pm 8,3$ après un mois à $121,3 \pm 5,8$ en trois mois, suivi de *S. zeamais* $17,3 \pm 2,8$ après un mois à $50,3 \pm 12,3$ en trois mois puis *T. castaneum* avec $17 \pm 2,5$ en un mois à $44,3 \pm 12,8$ en trois mois. Avec l'actellic, aucune émergence n'a été enregistrée au bout des trois mois. Une réduction significative de l'émergence de la première et la seconde évaluation avec tous les produits utilisés par rapport au témoin T₁ est observée. Au niveau des extraits de broyat et de la poudre atomisée, après trois mois, le traitement T₅ (0,6 g de la poudre atomisée) enregistre plus d'émergences ($18,3 \pm 3,1$ de *S. zeamais*, 34 ± 5 de *P. truncatus* et 17 ± 1 de *T. castaneum* émergés). Le traitement T₁₃ (dose 12 g de granulométrie 0,2 mm) enregistre moins d'émergences que tous les autres traitements aux extraits de broyat d'épis de maïs. Ces émergences sont respectivement en moyenne de 2, 8 et 4 pour *S. zeamais*, *P. truncatus* et *T. castaneum*. Les lots traités à différentes doses d'épis de maïs broyés et de la poudre atomisée montrent les mêmes aptitudes que l'actellic à contrôler la descendance de *S. zeamais* après un et trois mois. Ils inhibent l'émergence de *P. truncatus* après un mois excepté les traitements T₃ (4 g de granulométrie 0,5 mm), T₅ (0,6 g du produit atomisé) et T₈ (1,2 g du produit atomisé). Quelque soit l'insecte, les traitements T₁₂ (dose 12 g de granulométrie 0,5 mm) et T₁₃ (dose 12 g de granulométrie 0,2 mm) ne sont pas significativement différents de l'actellic après la deuxième évaluation des émergences, soit trois mois. Ils ont la même efficacité que l'actellic à réduire le nombre d'émergence des différentes espèces d'insectes.

Tableau 23: Efficacité des extraits de broyats d'épis de maïs et de la poudre atomisée sur le nombre d'insectes émergés en fonction des différents traitements après un et trois mois
 Pour la même colonne (même insecte et même mois), les moyennes des émergences suivies d'une même lettre ne présentent pas de différence significative au seuil de 5%

| Réduction de l'émergence | | | | | | |
|--------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | <i>S. zeamais</i> | | <i>P. truncatus</i> | | <i>T. castaneum</i> | |
| | 1 mois | 3 mois | 1 mois | 3 mois | 1 mois | 3 mois |
| T₁ | 17,3±2,8 ^a | 50,3±12,3 ^a | 71,3 ±8,3 ^a | 121,3 ±5,8 ^a | 17 ± 2,5 ^a | 44,3±12,8 ^a |
| T₂ | 0 ±0 ^e | 0 ± 0 ^d | 0 ± 0 ^e | 0 ± 0 ^g | 0 ± 0 ^d | 0 ± 0 ^c |
| T₃ | 5,5±1,5 ^{bcd} | 9,8±2,4 ^{bcd} | 15,5 ± 3 ^{bc} | 30 ±3,5 ^{bc} | 4,8 ± 1,6 ^{bc} | 10,8±2,3 ^{bc} |
| T₄ | 2,8±0,8 ^{bcde} | 6,5 ±1,3 ^{bcd} | 9,3 ± 2,1 ^{bcde} | 21,3±4,1 ^{cde} | 5 ± 1 ^{bc} | 10,8±2,8 ^{bc} |
| T₅ | 6,8 ±1,8 ^b | 18,3 ±3,1 ^b | 17,8 ±3,8 ^b | 34 ±5 ^b | 1,34 ±1,26 ^b | 17 ± 1 ^b |
| T₆ | 3,8 ± 1,3 ^{bcde} | 7,5±1,5 ^{bcd} | 8,8 ± 0,8 ^{bcde} | 17±2 ^{def} | 4,8 ± 1,3 ^{bc} | 10 ± 2 ^{bc} |
| T₇ | 2,3±0,9 ^{cde} | 4,8±2,4 ^{cd} | 7,8 ±0,84 ^{bcde} | 15,3±1,9 ^{def} | 4 ± 1 ^c | 9,3 ± 1,9 ^{bc} |
| T₈ | 6,5 ±1,5 ^{bc} | 13± 2,5 ^{bc} | 12,3±2,4 ^{bcd} | 22,3± 4,8 ^{cd} | 1,52±1,33 ^{bc} | 12,3±1,8 ^{bc} |
| T₉ | 2 ± 1 ^{de} | 3,5 ±2 ^{cd} | 7,8±1,3 ^{bcde} | 14,5± 2,5 ^{def} | 3,3 ± 0,4 ^{cd} | 6 ± 0,5 ^{bc} |
| T₁₀ | 3,3±1,4 ^{cde} | 4 ±2 ^{cd} | 6,5 ±1 ^{cde} | 12,3±0,8 ^{def} | 3 ± 0,5 ^{cd} | 5,8 ±1,3 ^{bc} |
| T₁₁ | 6,7±1,3 ^{bcde} | 9,3 ±0,9 ^{bcd} | 9,8 ± 1,8 ^{bcde} | 19,3±5,3 ^{cdef} | 1,9±1,4 ^{bc} | 10 ±1 ^{bc} |
| T₁₂ | 1±1 ^e | 2±2 ^{cd} | 4,3±1,3 ^{de} | 10,5 ± 1 ^{efg} | 2,3 ± 0,8 ^{cd} | 5,3±0,8 ^{bc} |
| T₁₃ | 0,8 ± 0,8 ^e | 1,3±1,9 ^{cd} | 3,8±0,8 ^{de} | 8,5 ±1,8 ^{fg} | 2,5±0,5 ^{cd} | 4 ±2 ^c |
| T₁₄ | 3±0,5 ^{bcde} | 7,8±1,3 ^{bcd} | 8 ±0,5 ^{bcde} | 17,5±1,5 ^{def} | 2,2±1,6 ^{cd} | 8,5 ± 2 ^{bc} |

V.4.3. Effets des extraits du broyat et de la poudre atomisée d'épis secs de maïs sur les dégâts causés par *S. zeamais*, *P. truncatus* et *T. castaneum* après un et trois mois.

Le tableau 24 présente les effets des extraits de broyat d'épis de maïs et de la poudre atomisée sur les dégâts causés par les insectes en fonction des différents traitements.

Au niveau des témoins, *P. truncatus* est le ravageur qui cause le plus de dégâts avec respectivement $21,3 \pm 2,8$ % au 1^{er} mois et $34 \pm 3,5$ % au 3^{ème} mois, suivi de *S. zeamais* avec $14,7 \pm 4,5$ % au 1^{er} mois et $24,3 \pm 3,8$ % au 3^{ème} mois puis *T. castaneum* avec respectivement $9,1 \pm 0,9$ % et $16,3 \pm 2,3$ % au 1^{er} et au 3^{ème} mois. Aucun dégât n'est noté au niveau des traitements à l'actellic par rapport aux trois espèces d'insectes. Pour ce qui est des traitements aux extraits de broyat d'épis de maïs et à la poudre atomisée, les dégâts varient en fonction de la dose mais aussi du diamètre utilisé. Ainsi, les doses T₃ (4g de granulométrie 0,5mm), T₅ (0,6g du produit atomisé) et T₈ (1,2g du produit atomisé) ont enregistré les plus grands dégâts; le maximum étant atteint avec le traitement T₅ (0,6g du produit atomisé) avec des dégâts respectifs de l'ordre $13,3 \pm 1,4$ %; $10,7 \pm 1,2$ % et $11,5 \pm 1,6$ % causés respectivement par *P. truncatus*, *S. zeamais* et *T. castaneum* au bout de trois mois. Le traitement T₁₃ qui a la dose la plus élevée (12g) et de diamètre 0,2 mm subit moins de dégâts avec une moyenne respective de $1,6 \pm 1,2$ %; $3,3 \pm 1$ % et $2,2 \pm 1,3$ % causés par *S. zeamais*, *P. truncatus* et *T. castaneum* au bout de trois mois. A 10 g de granulométrie 0,2 mm (T₁₀), puis à 12 g, de granulométrie 0,2 mm (T₁₃) et 0,5 mm (T₁₂), les extraits de broyat d'épis de maïs sont plus efficaces qu'aux autres traitements. T₁₀, T₁₂ et T₁₃ réduisent considérablement les dégâts causés par *S. zeamais*, *P. truncatus* et *T. castaneum* au bout de trois mois sur du maïs. A ces doses, les dégâts causés par *S. zeamais* sont insignifiants tout comme l'actellic. Par contre, aucune des doses n'a statistiquement le même pouvoir de réduction des dégâts causés par *P. truncatus* et *T. castaneum* que l'actellic.

Tableau 24: Effet des extraits de broyat d'épis de maïs et de la poudre atomisée sur les dégâts causés par les insectes en fonction des différents traitements après un et trois mois

Pour la même colonne, (même insecte et même mois), les moyennes suivies d'une même lettre ne présentent pas de différence significative au seuil de 5%

| | <i>S. zeamais</i> | | <i>P. truncatus</i> | | <i>T. castaneum</i> | |
|-----------------|----------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | 1 mois | 3 mois | 1 mois | 3 mois | 1 mois | 3 mois |
| T ₁ | 14,7 ± 4,5 ^a | 24,3 ± 3,8 ^a | 21,3 ± 2,8 ^a | 34 ± 3,5 ^a | 9,1 ± 0,9 ^a | 16,3 ± 2,3 ^a |
| T ₂ | 0 ± 0 ^h | 0 ± 0 ⁱ | 0 ± 0 ⁱ | 0 ± 0 ⁱ | 0 ± 0 ^h | 0 ± 0 ^h |
| T ₃ | 4,7 ± 0,8 ^{bc} | 9,3 ± 1,6 ^{bc} | 6,2 ± 1,2 ^{bc} | 12,4 ± 1,6 ^{bc} | 4 ± 0,5 ^c | 8,5 ± 0,9 ^c |
| T ₄ | 3,3 ± 1 ^{bcde} | 6,9 ± 1,1 ^{cde} | 5 ± 0,2 ^{cde} | 9,7 ± 0,7 ^{cde} | 3,9 ± 0,6 ^{cd} | 7,8 ± 1,1 ^c |
| T ₅ | 4,9 ± 1,3 ^b | 10,7 ± 1,2 ^b | 7,33 ± 1,39 ^b | 13,3 ± 1,4 ^b | 5,5 ± 1 ^b | 11,5 ± 1,6 ^b |
| T ₆ | 3,1 ± 1,1 ^{bcdef} | 6,3 ± 2,3 ^{de} | 4,6 ± 1 ^{cdef} | 9,5 ± 1,5 ^{de} | 2,5 ± 0,6 ^{ef} | 5,6 ± 0,9 ^{de} |
| T ₇ | 2,5 ± 0,9 ^{cdefg} | 5,2 ± 1,2 ^{ef} | 3,8 ± 0,6 ^{efg} | 7,5 ± 1,2 ^{ef} | 2,7 ± 0,8 ^{ef} | 5,2 ± 0,9 ^e |
| T ₈ | 4,2 ± 0,9 ^{bcd} | 8,1 ± 1,1 ^{bcd} | 6,1 ± 1 ^{bcd} | 10,4 ± 1,2 ^{cd} | 3,4 ± 0,9 ^{cde} | 7,3 ± 1,1 ^{cd} |
| T ₉ | 1,8 ± 0,7 ^{efgh} | 3,3 ± 1,4 ^{fgh} | 3,1 ± 0,6 ^{efgh} | 6,3 ± 1,2 ^{fg} | 1,9 ± 0,6 ^{fg} | 4,3 ± 0,7 ^{ef} |
| T ₁₀ | 1,1 ± 0,6 ^{efgh} | 2 ± 1 ^{ghi} | 2,6 ± 0,7 ^{fgh} | 5,3 ± 0,8 ^{fgh} | 1,8 ± 0,8 ^{fg} | 3,6 ± 1,1 ^{efg} |
| T ₁₁ | 3,3 ± 0,7 ^{bcde} | 6,7 ± 1,3 ^{cde} | 3,9 ± 0,6 ^{defg} | 7,9 ± 1,4 ^{def} | 2,8 ± 0,5 ^{def} | 5,3 ± 0,6 ^{de} |
| T ₁₂ | 0,7 ± 0,6 ^{gh} | 1 ± 0,8 ^{hi} | 2,2 ± 0,7 ^{ghi} | 4,3 ± 1,2 ^{gh} | 1,3 ± 0,5 ^g | 2,7 ± 1,3 ^{fg} |
| T ₁₃ | 0,8 ± 0,5 ^{fgh} | 1,6 ± 1,2 ^{hi} | 1,4 ± 0,7 ^{hi} | 3,3 ± 1 ^h | 1,2 ± 0,4 ^{gh} | 2,2 ± 1,3 ^g |
| T ₁₄ | 5,3 ± 0,7 ^{defgh} | 4,6 ± 0,7 ^{efg} | 3,4 ± 0,8 ^{efgh} | 6,6 ± 1,3 ^{fg} | 2 ± 0,7 ^{fg} | 4,2 ± 1 ^{efg} |

V.4.4. Estimation des pertes en poids

Le tableau 25 présente les effets des extraits de broyat d'épis de maïs et de la poudre atomisée sur les pertes pondérales causées par les différents insectes en fonction des différents traitements. Les résultats montrent que les pertes les plus importantes sont notées au niveau des témoins non traités et *P. truncatus* a infligé plus de pertes que *S. zeamais* et *T. castaneum* qui sont respectivement de $5,2 \pm 0,6$ % et $8,2 \pm 1,1$ % après un mois et trois mois. Cependant, il n'y a pas eu de pertes avec les lots traités à l'actellic durant 3 mois.

Les pertes augmentent avec le temps de stockage chez les trois espèces d'insectes, toutefois lorsque les doses des extraits aux broyats d'épis secs de maïs et à la poudre atomisée augmentent, elles diminuent. Les doses T₃ (4 g de granulométrie 0,5 mm), T₅ (0,6 g du produit atomisé) et T₈ (1,2g du produit atomisé) ont enregistré les plus grandes pertes; avec des maxima enregistrés au niveau de T₅ (0,6 g du produit atomisé) dont les pertes sont de l'ordre de $2,4 \pm 0,4$ %, $3,2 \pm 0,5$ % et $2,2 \pm 0,4$ % respectivement avec *S. zeamais*, *P. truncatus* et *T. castaneum* au bout de trois mois. Le traitement T₁₃ (12 g de granulométrie 0,2 mm) subit moins de pertes avec une moyenne respective de $0,2 \pm 0,1$ %; $0,5 \pm 0,2$ % et $0,3 \pm 0,2$ % avec *S. zeamais*, *P. truncatus* et *T. castaneum* au bout de trois mois. T₁₃ est statistiquement proche de l'actellic concernant tous les insectes durant trois mois. A 12 g de granulométrie de 0,2 mm (T₁₃), *S. zeamais*, *P. truncatus* et *T. castaneum* occasionnent sur du maïs des pertes aussi faibles qu'avec l'actellic, ce qui le différencie significativement des autres traitements aux extraits de broyat d'épis de maïs pour les pertes pondérales causées par *P. truncatus* et *T. castaneum*.

Tableau 25: Effets des extraits de broyat d'épis de maïs et de la poudre atomisée sur les pertes pondérales causées par les insectes en fonction des différents traitements après un et trois mois

Pour une même colonne, les moyennes suivies d'une même lettre ne présentent pas de différence significative au seuil de 5%

| | <i>S. zeamais</i> | | <i>P. truncatus</i> | | <i>T. castaneum</i> | |
|-----------------|--------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|
| | 1 mois | 3 mois | 1 mois | 3 mois | 1 mois | 3 mois |
| T ₁ | 3,7±1,5 ^a | 7±1,7 ^a | 5,2 ±0,6 ^a | 8,2±1,1 ^a | 1,8±0,3 ^a | 3,8±0,7 ^a |
| T ₂ | 0 ± 0 ^d | 0 ± 0 ^g | 0 ± 0 ^h | 0 ± 0 ^h | 0 ± 0 ^f | 0 ± 0 ^j |
| T ₃ | 0,9±0,2 ^b | 2,1±0,5 ^{bc} | 1,3±0,3 ^{bc} | 2,9±0,5 ^{bc} | 0,8±0,1 ^c | 1,8±0,4 ^{bc} |
| T ₄ | 0,7±0,3 ^{bcd} | 1,2±0,1 ^{cde} | 1,1±0,1 ^{bcd} | 1,9±0,2 ^{de} | 0,8±0,2 ^c | 1,6±0,3 ^{cd} |
| T ₅ | 1±0,3 ^b | 2,4±0,4 ^b | 1,5±0,3 ^b | 3,2±0,5 ^b | 1,1±0,2 ^b | 2,2±0,4 ^b |
| T ₆ | 0,6±0,3 ^{bcd} | 1,3±0,5 ^{cde} | 0,9±0,2 ^{cde} | 2 ± 0,4 ^{de} | 0,3±0,1 ^e | 1,2±0,2 ^{def} |
| T ₇ | 0,4±0,2 ^{bcd} | 1± 0,2 ^{def} | 0,7± 0,2 ^{def} | 1,4±0,2 ^{ef} | 0,4±0,2 ^{de} | 1± 0,2 ^{efg} |
| T ₈ | 0,8±0,3 ^{bc} | 1,8±0,3 ^{bcd} | 1,2±0,2 ^{bc} | 2,4±0,4 ^{cd} | 0,6±0,2 ^{cd} | 1,5±0,2 ^{cde} |
| T ₉ | 0,14 ±0,06 ^{cd} | 0,2±0,1 ^{fg} | 0,5±0,2 ^{fg} | 1,3±0,2 ^{efg} | 0,2±0,1 ^{ef} | 0,9±0,2 ^{fgh} |
| T ₁₀ | 0,2±0,1 ^{cd} | 0,7±0,4 ^{efg} | 0,3±0,1 ^{fgh} | 1± 0,1 ^{fg} | 0,2±0,1 ^{ef} | 0,6±0,3 ^{ghi} |
| T ₁₁ | 0,5±0,2 ^{bcd} | 1,4±0,3 ^{cde} | 0,7±0,2 ^{ef} | 1,6±0,3 ^{ef} | 0,4±0,1 ^{de} | 1,1±0,1 ^{defg} |
| T ₁₂ | 0,1±0,1 ^{cd} | 0,1±0,1 ^{fg} | 0,3± 0,1 ^{fgh} | 0,8±0,2 ^{fg} | 0,2±0,1 ^{ef} | 0,4±0,2 ^{hij} |
| T ₁₃ | 0,2 ±0,1 ^{cd} | 0,2±0,1 ^{fg} | 0,2±0,1 ^{gh} | 0,5±0,2 ^{gh} | 0,1±0,04 ^{ef} | 0,3± 0,1 ^{ij} |
| T ₁₄ | 0,3±0,1 ^{bcd} | 0,9±0,2 ^{efg} | 0,6 ±0,3 ^{efg} | 1,3±0,3 ^{efg} | 0,2±0,1 ^{ef} | 0,8±0,3 ^{fghi} |

V.5. Discussion

Les résultats obtenus montre que les extraits de broyat d'épis secs de maïs possèdent un effet insecticide, malgré leur faible pouvoir sur la mortalité de *S. zeamais*, *P. truncatus* et *T. castaneum*. Ces extraits ont une influencesur l'émergence des insectes, mais aussi sur les dégâts et les pertes pondérales des grains causés par les espèces d'insectes.

Les faibles taux de mortalité des insectes obtenus avec les différents traitements aux extraits de broyat et poudre atomisée d'épis secs de maïs aux doses comprises entre 4 et 12 g pour des granulométries de 0,5 et 0,2 mm montrent que ces produits agissent très peu par contact. Ce résultat corrobore celui de Guèye *et al.* (2012) qui ont obtenu une mortalité de *S. zeamais* inférieure à 1 % durant quatre semaines avec le broyat d'épis secs de maïs à des doses comprises entre 1,6 et 4 % (P/P) pour des granulométries de 1,4 et 0,4 mm. Ndomo *et al.* (2009) ont obtenu une inefficacité totale par contact de la poudre de feuilles de *Callistemon viminalis* (Myrtacées) après quatre jours d'exposition contre les adultes d'*Acanthoscelides obtectus*, à la granulométrie 0,5 mm et aux doses 2, 4, 8 et 16 g/40 g de graines à l'égard des adultes de la bruche du haricot commun *Phaseolus vulgaris*L. Cette faible mortalité serait due au contact des extraits de broyat d'épis secs de maïs sur les insectes. Ces derniers aux doses fortes joueraient un rôle mécanique en remplissant les espaces intergranulaires, causant ainsi la mort des insectes par asphyxie. Le broyat d'épis de maïs et la poudre atomisée ont pu inhiber la reproduction d'adultes des différentes espèces d'insectes à des niveaux dépendant de la dose et de la granulométrie. Cette inhibition pourrait être expliquée par la présence dans les différents produits utilisés, des composés ayant des effets inhibiteurs sur l'ovipositeur, la fécondité et la fertilité des insectes. La faiblesse des pontes par dissuasion des femelles et une forte mortalité des œufs ou des larves néonates peuvent être évoquées aux plus fortes doses testées (12 g). Kellouche et Soltani (2004) puis Kellouche (2005) ont montré que les poudres des feuilles de *Ficus carica* (moracées), de *Sizygium aromaticum* (Myrtacées), *Eucalyptus globulus* (Myrtacées), d'*Olea europaea* (Olacées) et de *Citrus limon* (Rutacées) affectent la fécondité des femelles de *C. maculatus*. En outre, ces derniers ont montré que les poudres des différentes espèces de ces plantes peuvent avoir une action biocide, soit en diminuant l'adhésivité des œufs de *C. maculatus* sur le tégument des graines, soit en agissant sur l'embryon après leur pénétration à travers le chorion. Les extraits du broyat de rafles d'épis de maïs aux doses élevées rempliraient les espaces entre les grains et empêcheraient les insectes de faire des mouvements et pondre normalement. Selon De Groot (2004), les poudres de plantes tout comme les minéraux inertes remplissent l'espace entre les grains et empêchent le

mouvement des insectes; ceux-ci ont du mal à trouver des partenaires et sont obligés de déposer leurs œufs sur une petite quantité de grains.

La diminution des dégâts et des pertes pondérales résultent non seulement de l'augmentation de la dose mais aussi de la granulométrie du broyat d'épis secs de maïs. Elle est corrélée significativement à la faiblesse de la reproduction des femelles. Celle-ci serait due à la limitation du déplacement des adultes à l'intérieur du stock confinant ainsi leurs pontes dans les premières couches de grains ou à l'existence d'une action physique probablement dessicatrice qui augmenterait avec les déplacements des insectes (Guèye, 2012). Des produits de texture assez proche, de la cendre, du sable, des poudres de terres à diatomées agissent de la même façon. Selon De Groot (2004), ces produits malgré le fait qu'ils n'empêchent pas tous les dégâts, gênent l'activité des insectes nouvellement éclos et les dégâts sont moindres.

Les doses testées ont montré des différences dans leur capacité à limiter les dégâts et les pertes en poids de maïs dus aux différents insectes. Des doses supérieures ou égales à 8 g de broyats d'épis de maïs pour 250 g de grains de maïs, soit 3,2 % (P/P) et supérieures ou égales à 1,2g de la poudre atomisée ont permis de maintenir les pertes pondérales à moins de 1 %. A la dose de 12 g /250 g de maïs, soit 4,8 % (P/P) les pertes n'atteignent pas 0,7 % en trois mois et ceci quelque soit l'espèce d'insectes. Ces travaux corroborent ceux de Guèye *et al.* (2012) qui ont obtenu des pertes en poids en dessous de 0,3 % à la dose de 10 g / 250 g de maïs en quatre mois avec *S. zeamais*.

A la dose efficace, le broyat d'épis de maïs apparait donc comme un moyen naturel et efficace de protection du maïs stocké.

V.6. Conclusion

Il ressort de la présente investigation que les extraits de broyat d'épis secs de maïs, malgré leur faible efficacité sur la mortalité de *S. zeamais*, *P. truncatus*, et *T. castaneum* limitent les émergences, les dégâts et pertes occasionnés par ces derniers à de faibles niveaux. Le broyat d'épis secs de maïs et la poudre atomisée ont entraîné une mortalité significativement plus élevée que dans le maïs non traité mais tout même faible. C'est dans la production de la descendance, l'inhibition de la reproduction et la limitation des dégâts et pertes qu'il est noté une efficacité très proche de l'actellic à la dose la plus forte testée. Ainsi, malgré la faible mortalité durant les quatorze jours, les adultes survivants n'ont pas pu assurer une reproduction commode qui leur permettrait d'avoir une émergence en un voire trois mois à même de commettre des dégâts et pertes importants à bonne dose.

Au diamètre 0,2 mm, les produits ont pu maintenir à des doses supérieures ou égales à 3,2 % (8 g de broyat / 250 g) des émergences aussi faibles que celles notées avec l'actellic, ceci jusqu'à trois mois avec les différents insectes. Subséquemment, dégâts et pertes restent statistiquement au même niveau que le maïs protégé à l'actellic. Cependant, la poudre atomisée ne donnant pas une meilleure efficacité que le broyat d'épis secs de maïs, semble montrer d'autres mécanismes en jeu que la finesse des particules, donc un effet contact. Ainsi la recherche des autres mécanismes en partie responsable de l'efficacité notée s'avère utile. Ces différents constats plaident pour une utilisation du broyat d'épis de maïs comme pesticide biologique en substitut aux produits de synthèse. L'utilisation du broyat d'épis de maïs dans la conservation du maïs grain est une méthode qui ne laisse pas de résidus nuisibles à la santé du consommateur mais également ne nécessite pas d'investissement économique.

CONCLUSION GENERALE

Nos travaux ont porté d'une part sur la recherche et la caractérisation de substances inertes riches en silice au Sénégal dans le but d'en sélectionner les plus efficaces après un test et d'évaluer leurs effets insecticides sur quatre ravageurs importants (*C. maculatus*, *S. zeamais*, *P. truncatus* et *T. castaneum*) fréquemment rencontrés dans les stocks de niébé et de maïs des régions chaudes et humides d'Afrique. D'autre part, ils ont porté sur l'efficacité des épis de maïs broyés dans la conservation des grains de maïs contre deux ravageurs redoutables des stocks de maïs à savoir *S. zeamais* et *P. truncatus* et un ravageur secondaire *T. castaneum*. Cette étude entre dans le cadre de la recherche de méthodes de lutte alternatives contre les insectes ravageurs du niébé et du maïs en post récolte afin de contribuer à la protection de l'environnement, à la santé humaine et à la lutte contre la pauvreté et l'insécurité alimentaire en milieu rural dans les pays en développement. Au terme de notre travail, il ressort ce qui suit :

- ✓ sur les vingt trois échantillons de substances inertes prélevés dans les régions de Dakar, Thiès, Louga et Matam au Sénégal, après un test d'efficacité sur *C. maculatus* et *S. zeamais* à la dose témoin de 2 g par substance inerte de granulométrie 0,3 mm, cinq se sont révélées plus efficaces. Il s'agit des attapulgites d'Alou Kagne, Lac Tanma 1 et Lac Tanma 2 et des sables siliceux de Diobé 1 et Diobé 2 ;
- ✓ l'analyse par fluorescence X des cinq substances inertes montre qu'elles contiennent de la silice comme élément majeur avec un maximum de silice 75,5 % pour Matam 2 et un minimum de 31,6 % pour Lac Tanma 1; il s'agit donc des substances inertes avec une teneur en silice variable. La diffraction aux rayons X a montré que les substances inertes de Diobé 1 et Diobé 2 sont moins argileux que celles d'Alou Kagne, Lac Tanma 1 et Lac Tanma 2; elles sont composées à 100 % de kaolinite après analyse de la fraction argileuse par contre Alou Kagne, Lac Tanma 1 et Lac Tanma 2 qui sont constitués principalement de palygorskite sont des attapulgites ;
- ✓ les cinq substances inertes testés sur *C. maculatus*, *S. zeamais*, *P. truncatus* et *T. castaneum* ont montré des efficacités différentes. En termes d'activité insecticide, l'attapulgite d'Alou Kagne s'est avérée plus efficace; elle provoque plus de 77 % de mortalité en 14 jours à la granulométrie 0,3 mm et à la dose de 4 g en limitant la reproduction des insectes, d'où les faibles dégâts et pertes enregistrés. *C. maculatus* est l'insecte le plus sensible par contre *P. truncatus* et *T. castaneum* résistent le plus aux

substances inertes. Les émergences, dégâts et pertes évoluent en sens inverse de la mortalité, ainsi *P. truncatus* est l'insecte qui cause le plus de dégâts et de pertes contrairement à *C. maculatus*. Quant à *T. castaneum*, le fait qu'il émerge moins et occasionne moins de dégâts et pertes confirme son statut de ravageur secondaire. En protégeant les grains de maïs et graines de niébé avec les substances inertes, la persistance de l'activité insecticide est prolongée; l'effet insecticide dure jusqu'à six mois à la dose de 4 g et à la granulométrie 0,3 mm en comparaison à l'actellic. L'emploi de ces substances inertes dans la conservation des semences contre les ravageurs de stocks est une piste encourageante.

- ✓ Les épis secs de maïs ont montré des effets insecticides contre *S. zeamais*, *P. truncatus* et *T. castaneum*. Le broyat d'épis secs de maïs et la poudre atomisée ont pu maintenir à des doses supérieures ou égales à 3,2 % (8 g de broyat / 250 g) des émergences, dégâts et pertes aussi faibles que celles notées avec l'actellic après un et trois mois avec les différents insectes. A une granulométrie fine et à dose élevée, le broyat d'épis sec de maïs serait un atout pour conserver le maïs en substitut aux pesticides de synthèse.

Les résultats obtenus de ce travail ouvrent de nouvelles perspectives qui devraient être axées sur :

- ✓ l'étude des mécanismes d'action qui sous-tendent l'efficacité des substances inertes et du broyat des épis de maïs par la recherche de composés chimiques actifs;
- ✓ la poursuite des tests avec des granulométries inférieures à 0,3 mm pour les substances inertes et 0,2 mm pour le broyat d'épis secs de maïs;
- ✓ l'évaluation de la durée de l'efficacité des cinq substances et des produits des épis de maïs sur le stockage du maïs et du niébé au moins sur un an;
- ✓ l'étude de l'effet de l'humidité sur la stabilité et l'efficacité des substances inertes;
- ✓ l'étude d'autres substances inertes telles que les quatzites et d'autres types d'argile qui peuvent avoir des effets insecticides sur les ravageurs du maïs et du niébé stockés ;
- ✓ l'extension des études au laboratoire sur d'autres ravageurs des denrées stockées et de réaliser des études en milieu paysan en vue de tester les mêmes paramètres dans les greniers traditionnels.
- ✓ L'analyse chimique des broyats d'épis vides de maïs secs pour trouver leur effet inhibiteur.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Aba Toumnou L., Seck D., Namkossere S., Cissé N., Kandioura N., Sembène M. 2012.** Utilisation des plantes indigènes à effet insecticide pour la protection des denrées stockées contre des insectes ravageurs à Boukoko (Centrafrique). *International Journal of Biological and Chemistry Sciences*, **6**(3): 1040-1050.
- Abbott W.S. 1925.** A method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology*, **18**(2): 265-267.
- Adéoti R., Coulibaly O., Tamò M. 2002.** Facteurs affectant l'adoption des nouvelles technologies du niébé *Vigna unguiculata* en Afrique de l'Ouest. *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin*, **36**: 18p.
- Aïboud K. 2012.** Etude de l'efficacité de quelques huiles essentielles à l'égard de la bruche du niébé *Callosobruchus maculatus* (Coloéoptera : Bruchidae) et impacts des traitements sur la germination des graines de *Vigna unguiculata* (L.) Walp. n° 25. 174 p.
- Albert H. 1992.** Aspects économiques de la protection des stocks - Exemple du maïs dans le sud du Togo. GTZ Hamburg, 150 p.
- Alvarez N. 2004.** Plantes hôtes et organisation de la diversité des insectes phytophages, des radiations évolutives aux processus populationnels : le cas des bruches du genre *Acanthoscelides* Schilsky (Coleoptera : Bruchidae). Thèse de doctorat, Univ. Neuchâtel & Univ. Montpellier II, 54p.
- Alzouma I. 1981.** Observations of the ecology of *Bruchidius atrolineatus* Pic. et *Callosobruchus maculatus* F. (Coleoptera: Bruchidae) in Niger. In: *The Ecology of Bruchids Attacking Legumes*. Edited by Labeyrie, Sunk, The Hague: 205-213
- Amevoïn K., Sanon A., Apossaba M.M., Glitho I.A. 2007.** Biological control of bruchids infesting cowpea by the introduction of *Dinarmus basalis* (Rondani) (Hymenoptera: Pteromalidae) adults into farmers stores in West Africa. *Journal of Stored Products Research*, **43** : 240-247.
- ANSD. 2013.** Recensement Général de la Population et de l'Habitat, de l'Agriculture et de l'Elevage (RGPHAE) 2013. Rapport Provisoire. Mars 2014. 36p. (consulté le 13/05/2014).
- ANSD. 2015.** Bulletin mensuel des statistiques économiques. Ministère de l'Economie, des Finances et du Plan. 103p. (Consulté le 21/01/2016).

- Arnaud L., Thi Lan H.T., Brostaux Y., Haubruge E. 2005.** Efficacy of diatomaceous earth formulations admixed with grain against populations of *T. castaneum*. *Journal of Stored Products Research*, **41**: 121-130.
- Athanassiou C.G., Kavallieratos N.G., Dimizas C., Vayias B.J., Tomanovic Z. 2006.** Factors affecting the insecticidal efficacy of the diatomaceous earth formulation SilicoSec against adults of the rice weevil, *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera: Curculionidae). *Applied Entomology and Zoology*, **41** (2): 201-207.
- Athanassiou C.G., Kavallieratos N.G., Tsaganou F.C., Vajias B.J., Dimizas C.B., Buchelos C.Th. 2003.** Effect of the grain type of the insecticidal efficacy of SilicoSec against *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera: Curculionidae). *Crop Protection*, **22** : 1141-1147.
- Banque mondiale 2006.** Rapport sur le développement dans le monde: Pauvreté, Equité et Développement. Banque Mondiale, Washington DC. 66p.
- Banque Mondiale 2011.** Missing food: The Case of Postharvest Grain Losses in Sub-Saharan Africa. Report number, 60371-afr.116 p.
- Barousseau J.P., Duvail C., Noël B.J., Roger J., Serrano O. 2009.** Notice explicative de la carte géologique du Sénégal à 1/200 000, feuilles de Saint Louis – Dagana, Podor – Saldé, Matam - Semmé. Ministère des Mines, de l'Industrie et des PME, Direction des Mines et de la Géologie, Dakar, 55p.
- Bell A., 1994.** Emploi des substances végétales comme produits de protection des stocks contre le grand capucin du grain (*Prostephanus truncatus*) et autres ravageurs. GTZ, Eschborn, Allemagne.
- Bell A. 2000.** Les plantes à racines et tubercules en Afrique: une contribution au développement des technologies de récoltes et d'après-récolte, DES-ZEL, GTZ.
- Bell A., Mück O., Schneider H. 1998.** La protection intégrée des denrées stockées est une affaire rentable! GTZ, Eschborn, Germany, 42p.
- Benhalima H., Chaudhry M.Q., Mills K.A., Price N.R. 2004.** Phosphine resistance in stored product insects collected from various grain storage facilities in Morocco. *Journal of Stored Products Research.*, **40**: 241-249.
- Beris G., Ferizli A.G., Emekci M. 2011.** Effects of diatomaceous earth on the mortality and progeny production of *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrychidae). *Tarim Bilimleri Dergisi- Journal of Agricultural Sciences*, **17**: 85-94.
- Bingen J., Hall A.E., Ndoye M.B. 1988.** California cowpeas and food policy in: Senegal. *World development*, vol 16, 7: 857-865.

- Biscaye P.E. 1965.** Mineralogy and sedimentation of recent deep-sea clay in the Atlantic Ocean and adjacent seas and oceans. *Geol. Soc. Am. Bull.*, **76**: 803-831.
- Bologne G., Duchesne J.C. 1991.** Analyse Des roches silicatées par spectrométrie de fluorescence X : Precision et exactitude. Laboratoires associés de Géologie, Pétrologie et Géochimie Université de Liège. Professional Paper 1991/5 - N° 249.13p.
- Boski T., Pessoa J., Pedro P., Thorez J., Dias J.M.A., Hall Ian R. 1998.** Factors governing abundance of hydrolyzable amino acids in the sediments from the N.W. European Continental Margin (47-50 degrees N). *Progress in Oceanography*, **42**(1-4), pp. 145-164.
- Boxall R.A. 1986.** A critical review of the methodology for assessing farm, level grain losses after harvest. Report of the Tropical Development and Research Institute, G191, viii +139p.
- Camara 1997.** Recherche sur les nouvelles substances biocides végétales application au contrôle des bruches du niébé *callosobruchus maculatus* F. et de l'arachide *caryedon serratus*. Mémoire présentée pour l'obtention du diplôme d'ingénieur agronome ENSA-THIES. 78p.
- Carlos J.S.P. 2006.** «Exposition humaine aux pesticides: un facteur de risque pour le suicide au Brésil». *Vertigo-La revue en science de l'environnement*, **7**: 18p.
- Carn M., Garnier J.M., Maglione G.F. 1976.** Données préliminaires sur les possibilités d'installation d'une saline à l'emplacement du lac Retba, Cap Vert, Sénégal. *ORSTOM, Rapport interne*, Dakar: 15p.
- Carraretto M. 2005.** Histoires de maïs, d'une divinité amérindienne à ses avatars transgéniques, CTHS.
- Chanbang Y., Arthur F.H., Wilde G.E., Throne J.E. 2007.** Efficacy of diatomaceous earth to control *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera: Bostrichidae) in rough rice: impacts of temperature and relative humidity. *Crop Protection*, in press.
- CIC. 2016.** Rapport Marché des céréales. GMR 466 – 26 mai 2016. www.igc.int. Consulté le 13 juin 2016.
- CIRAD-GRET, Ministère des Affaires étrangères française. 2002.** Mémento de l'agronome. 1698p.
- Conceição P.M., Faroni L.A., Sousa A.H., Pimentel M.A.G., Freitas R.S. 2011.** Diatomaceous earth effects on weevils with different susceptibility standard to phosphine. *Revista Brasileira d'Engenharia Agricola e Ambiental*, **16**(3): 303-307.

- Cook H.E., Johnson P.D., Matti J.C., Zemmels I. 1975.** Methods of sample preparation and X-ray diffraction data analysis, X-ray Mineralogy Laboratory, Deep Sea Drilling Project, University of California, Riverside. *In* Hayes, D.E., Frakes, L.A., et al., *In Repts. DSDP, 28*: Washington (U.S. Govt. Printing Office), 999-1007.
- Cruz J.F., Troude F. 1988.** Conservation des grains en régions chaudes. Collection du Ministère de la Coopération et du Développement. Techniques rurales en Afrique. CEEMAT/CIRAD, Montpellier, 548p.
- CSE. 2000.** Annuaire sur l'environnement et les ressources naturelles du Sénégal. Dakar, Ministère de l'environnement et de la Protection de la nature.
- CSE. 2005.** Rapport sur l'état de l'environnement au Sénégal. Dakar, Ministère de l'Environnement et de la Protection de la Nature, Direction du Centre de Suivi Ecologique. 214p.
- CSE. 2013.** Annuaire sur l'environnement et les ressources naturelles du Sénégal. Dakar, Ministère de l'environnement et de la Protection de la nature. 3^{ème} Edition, septembre 2013. 388p.
- CTA. 1998.** Grand capucin du maïs. Bulletin Technique n°1, 3^{ème} édition Juin 1998. 15p.
- Danho M., Haubruge E., Gaspar C., Lognay G. 2003.** Sélection des grains-hôtes par *Prostephanus truncatus* (Coleoptera, Bostrychidae) en présence de grains préalablement infestés par *Sitophilus zeamais* (Coleoptera, Curculionidae). *Belgian Journal of Zoology*, **130** (1):3-9.
- Dauguet S., Lacoste F., Ticot B., Loison J.P., Evrard J., Bouchtane B., 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.
- De Groot. 2004.** Protection des céréales et des légumineuses stockées. Fondation Agromisa, Wageningen, 2e éd: 74p.
- De Luca Y. 1981.** Poudres minérales naturelles et insectes des grains stockés (critères, dissuadants, létaux, silice, sels de calcium et magnésium). *Journal d'agriculture traditionnelle et de botanique appliquée*. 28e année, bulletin n°1, pp. 55-64.
- Delobel A., Tran M. 1993.** Les coléoptères des denrées alimentaires entreposées dans les régions chaudes. ORSTOM/CTA. Paris, 424p.
- Demissie G., Tefera T., Tadesse A. 2008.** Efficacy of Silicosec, filter cake and wood ash against the maize weevil, *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae) on three maize genotypes. *Journal of Stored Product Research*, **44** : 227-231.

- Diaw S.C. 1999.** Evaluation de la résistance variétale du niébé (*Vigna unguiculata* L.Walp.) à la bruche (*Callosobruchus maculatus* F). Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme d'ingénieur agronome ENSA-THIES: 74p.
- Doumbia M., Gondo Douan B., Koffi Kwadjo E., Kouadio Kra D., Martel V., Dagnogo M. 2014.** Effectiveness of Diatomaceous earth for control *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae), *Tribolium castaneum* and *Palorus subdepressus* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of Stored Products Research*, **57**: 1-5.
- Doumma A., Alzouma I. 2001.** Effet de *Boscia senegalensis* (Pers.) Lam. Ex Poir. (Capparaceae) sur l'évolution des populations de bruches dans les systèmes de stockages traditionnel de niébé (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) en zone sahélienne. *Tropicacultura*, **19**(4): 199-202.
- Dugje I.Y., Omoigui L.O., Ekeleme F., Kamara A.Y., Ajeigbe H. 2009.** Production du niébé en Afrique de l'Ouest: Guide du paysan. IITA, Ibadan, Nigeria. 26 pp.
- Duval J. 1991.** Les poussières insecticides. *Ecological Agriculture Projet*. Agro-Bio. pp 360-361.
- Elouard P., Evin J., Hebrard L. 1975.** Observations et résultats de mesures au radiocarbone sur les cordons littoraux coquilliers du lac Retba, Sénégal. *Ass. Sénégal. Et. Quater. Afr., Bull. liaison*, **46**: 15-19,
- Elouard P., Faure H., Hebrard L. 1977.** Variations du niveau de la mer au cours des 15 000 dernières années autour de la presqu'île du Cap Vert, Dakar, Sénégal. *Ass. Sénégal. Et. Quater. Afr., Bull. liaison*, **50**: 29-49.
- Fabiane C.C., Sonia M.N.L. 2005.** Combinations of diatomaceous earth and powder deltamethrin for insect control in stored corn. *Revista Brasileira d'Entomologia*, **49**(4): 47-52.
- Fagel N., Boski T., Likhoshway L., Oberhaensli H. 2003.** Late Quaternary clay mineral record in Central Lake Baïkal (Academician Ridge, Siberia). *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, **193**: 159–179.
- FAO STAT. 2006.** Rapport 2006 du Service international pour l'acquisition des applications agro biotechnologiques. www.isaaa.org/ressources/publications (12 03 2013).
- FAO STAT. 2012.** Maize Production. <http://www.foodsecurityportal.org/api/countries/fao-production-maize> (consulté le 06 08 2013).
- FAO. 1987.** Amélioration et production de maïs du sorgho et du mil. Vol 2: Sélection, agronomie et production de semences, Rome (Italie), 559p.

- FAO. 1993.** Le maïs dans la nutrition humaine. *In*: Collection FAO: Alimentation et nutrition n° 25. 174 p.
- FAO. 2001.** Les pesticides périmés menacent l'Afrique d'une catastrophe sanitaire. *Afrique relance*. ONU, 15 :42 p.
- FAO. 2011.** Programme continental de réduction des pertes après récolte: Evaluation rapides des besoins (Cameroun). Rapport N°09/018 FAO-BAD CMR. 94 p.
- FAO, CSE. 2007.** Caractérisation des systèmes de production agricole au Sénégal : Document de synthèse. 38p.
- FAO. SOFI. 2013.** L'état de l'insécurité alimentaire dans le monde. Les multiples dimensions de la sécurité alimentaire. Septembre 2013. 63p.
- Farr S.L., Cooper G.S., Cai J., Savitz D.A, Sandler D.P. 2004.** «Pesticide use and menstrual cycle characteristics among premenopausal women in the agricultural health study». *Am. J. Epidemiol*, **160**: 1194-1204.
- Farrell B.D. 1998.** "Inordinate fondness" explained: Why are there so many beetles? *Science*, 281, pp: 555-559.
- Ferron P., Deguine J.P. 2004.** Protection des cultures et développement durable bilan et perspective in : Le courrier de l'environnement de l'INRA, N°52, pp: 57-65.
- Fery R.L., 1985.** The genetics of cowpea: a review of the world literature. In: *Cowpea research, production and utilization*, S.R. Singh et K.O. Rachie éd., New York, Etats-Unis, Wiley: 25-62.
- Fianko J.R., Donkor A., Lowor S.T., Yeboah P.O., Glover E.T., Adom T., Faanu A. 2011.** Health risk associated with pesticide contamination of fish from the Densu River Basin in Ghana. *Journal of Environmental Protection*, **2**(2): 115-123.
- Fields P.G., Muir W.E. 1996.** Physical control, pp. 195-221. *In*: Integrated management of insects in stored products (Subramanyam B., Hagstrum D.W., Eds). Marcel Dekker Inc., New York, USA.
- Foua-Bi K. 1989.** Céréales des Régions Chaudes: Conservation et Transformation, Parmentier M, Fouad-biK (eds). AUPELF-UREF. Ads JohnLibbey Eurotext: Paris; 97-104.
- Francesca C.B. 2011.** Resistance to pyrethroids in the maize weevil, *Sitophilus zeamais*. Thesis Dissertation submitted to the University of Nottingham for the degree of Master Research. 107p.

- Gakuru S., Foua-Bi K. 1996.** Effet d'extraits de plantes sur la bruche du niébé (*Callosobruchus maculatus* Fab) et le charançon du riz (*Sitophilus oryzae* L.). *Cahiers Agricultures*, **5**: 39-42.
- Garcia-Romero E., Suarez M., Santaren J., Alvarez A. 2007.** Crystallochemical characterization of the palygorskite and sepiolite from the Alou Kagne deposit, Senegal. *Clays and Clay Minerals*, **55**: 606-617.
- Garnier J.M. 1978.** Evolution géochimique d'un milieu confiné: le lac Retba (Cap-Vert), Sénégal. *Rev. Géogr. Phys. et Géol. pyn.* (2), 20, fasc.1 : 43-58.
- Gay J.P. 1984.** Le cycle du maïs. In: « Physiologie du maïs ». INRA, Paris, 1-11.
- Genest C., Traoré A., Bamba P. 1990.** Guide Pratique de Protection des Grains Entreposés. Coop. Canado Burkinabé.MAE. ACDI: BurkinaFaso, 105p.
- Gergely N., Coronel C., Hathié H. 2014.** Identification des possibilités d'appui aux filières de commercialisation porteuses. *Rapport intermédiaire AOL/001/SER/2013*, 172 p.
- Glitho L.A., Ketoh K.G., Nuto P.Y., Amevoin S.K., Huignard I. 2008.** Approches non toxiques et non polluantes pour le contrôle des populations d'insectes nuisibles en Afrique du Centre et de l'Ouest. 207-217. In *Regnault-Roger, C, Philogène, BJR. et Vincent, C* (éds). *Biopesticide d'origine Végétale jme édition*. Lavoisier, TEC & DOC, Paris, 550p.
- Glitho I.A., Nuto Y., Attoh A., Sambena B., Kounnou K. 1988.** Ecologie et biologie de la reproduction des Bruchidae parasites des légumineuses alimentaires cultivées au Togo et au Bénin. Rapport ABN (*Biosciences*), Lomé; 81p.
- Goergen G. 2005.** Petit manuel d'identification des principaux ravageurs des denrées stockées en Afrique de l'ouest, *Institut International de l'Agriculture Tropicale (IITA)*, Benin. 20p.
- Gordon B., Willm C. 1998.** Les industries de première transformation des céréales. *Collection Sciences et Techniques Agroalimentaires*. 65p.
- Goudoum A. 2010.** Impact des huiles essentielles sur le potentiel technologique et nutritionnel des grains et farine de maïs au cours du stockage. Thèse de Doctorat, ENSAI, Université de Ngaoundéré, Cameroun, 180p.
- GTZ. 1999.** Propagation de *Prostephanus truncatus* et de son prédateur *Teretriusoma nigriscens* en Afrique GTZ, Eschborn, Germany, 4 p.
- Guèye M.T. 2012.** Gestion intégrées des ravageurs de céréales et de légumineuses stockées au Sénégal par l'utilisation de substances issues de plantes. Thèse de doctorat en sciences agronomiques et ingénierie biologique à l'Université de Liège. 216p.

- Guèye M.T., Badiane M., Ndiaye A.B., Mbaye I., Diouf M., Ndiaye S. 2008.** La protection des stocks de maïs au Sénégal: enquêtes sur les pratiques d'utilisation des pesticides et plantes à effet insecticide en milieu paysan - *ITA Echos*, N°3, avril 2008.
- Guèye M.T., Goergen G., Badiane D., Hell K., Lamboni L. 2008.** First report on occurrence of the larger grain borer *Prostephanus Truncatus* (Horn) (Coleoptera: Bostrichidae) in Senegal. *Journal of African Entomology*, **16** (2) : 309-311.
- Guèye M.T., Seck D., Wathelet J.P., Lognay G. 2011.** Lutte contre les ravageurs des stocks de céréales et de légumineuses au Sénégal et en Afrique occidentale: une revue. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* **15** (1): 187-198.
- Guèye M.T., Cissokho P.S., Goergen G., Ndiaye S., Seck D., Guèye G., Wathelet J.P., Lognay G. 2012.** Efficacy of powdered maize cobs against the maize weevil *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) in stored maize in Senegal. *International Journal of Tropical Insect Sci.*, **32**: 1-7.
- Guèye M.T., Seck D., Wathelet J.P., Lognay G. 2012.** Typologie des systèmes de stockage et de conservation du maïs dans l'Est et le Sud du Sénégal. *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment*, **16**(1): 49-58.
- Guèye M.T., Goergen G.S., Ndiaye S., Asiedu E.A., Lognay G., Seck D. 2013.** Efficiency of traditional maize storage and control methods in rural grain granaries: a case study from Senegal. *Tropicultura*, **31**(2): 129-136.
- Gwinner J., Harnisch R., Muk O. 1996.** Manual on the Prevention of Post-harvest Grain Losses. Post-harvest protection project GTZ Eschborn, FRG, 330p.
- Haubruge E. 1987.** Contribution à la connaissance du mode de vie du Grand Capucin du Grain *Prostephanus truncatus* (Horn), (Coleoptera: Bostrichidae) et à son contrôle. Faculté des Sciences Agronomiques de l'Etat, B-5800 Gembloux (Belgique), 104p.
- Helbig J. 1995.** Écologie de *Prostephanus truncatus* au Togo examiné enotamment du point de vue des interactions avec le prédateur *Teretriosoma nigriscens*. GTZ, Eschborn, Germany, 111p.
- Huignard J., Glitho I. A., Monge J. P., Regnault-Roger C. 2011.** Insectes ravageurs des graines de légumineuses, Biologie des bruchidae et lutte raisonnée en Afrique. Edition Quae. 146p.
- IITA. 1982.** Le niébé: manuel de formation, Ibadan (Coll. Series de manuel 11): 127p.

- Iboudou Z. 2009.** Activité Biologique de quatre huiles essentielles contre *Callosobruchus maculatus* Fab. (Coleoptera: Bruchidae), insecte ravageur des stocks de niébé au Burkina Faso. Thèse unique de Doctorat de l'université de Ouagadougou. Sciences Biologiques Appliquées. Entomologie. 150p.
- Iliassa N.2004.** Analyse de la gestion post-récolte de *Vigna unguiculata* (walp) Fabaceae et évaluation de l'importance insecticide des huiles essentielles de trois plantes aromatiques. Mémoire de Maîtrise en Biologie et Physiologie Animales, Université de Ngaoundéré, Cameroun. 59p.
- Ilo-wep. 1986.** *Le Stockage du Grain*. Edité par BIT et ONUDI, ISBN 92-2-205415-6. 140p.
- Isman M.B. 2006.** Botanical insecticides, deterrents, and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated world. *Ann. Rev. Entomol.*, **51**: 45-66.
- ISRA. 1998.** Le projet d'entreprise de l'ISRA ou la recherche agricole Sénégalaise à l'horizon 2015. 82 p.
- ISRA, ITA, CIRAD. 2005.** Bilan de la recherche agricole et agroalimentaire au Sénégal. République du Sénégal. 522p.
- Isubikalú P., Erbaugh J.M., Semana A.R., Adipala E. 2000.** The influence of farmer perception on pesticide usage for management of cowpea field pests in Eastern Uganda. *African Crop Science Journal*, **8**(3): 317-325.
- Kabir B.J. 2013.** Laboratory evolution of efficacy of three diatomaceous earth formulation against *Tribolium castaneum* Herbst (Coleoptera: Tenebrionidae) in stored wheat. *European Scientific Journal*, **9**(30): 116-124.
- Kane C.H. 2007.** Etude sur l'optimisation du coût des forages en Afrique de l'Ouest. Rapport Sénégal, Financement Banque Mondiale, 2007.
- Kavallieratos N.G., Athanassiou C.G., Vajias B.J., Kotzamanidis S., Synodis S.D. 2010.** Efficacy and adherence of diatomaceous earth in spinosad and three wheat varieties against three stored-product insect pests. *Journal of Stored Prod. Research*, **46**: 73-80.
- Kellouche A. 2005.** Etude de la bruche du poi-chiche, *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: bruchidae): Biologie, physiologie, reproduction et lutte, Thèse. Doc d'Etat. Univ. Tizi-Ouzou, Algérie. 154p.
- Kellouche A., Soltani N. 2004.** Activité biologique des poudres de cinq plantes et de l'huile essentielle d'une d'entre elles sur *callosobruchus maculatus* (F.), *International Journal Of Tropical Insect Science*, **24**(1) : 184-191.

- Kim J.H., Lam W.W., Quistad G.B., Casida J.E. 1994.** Sulfoxidation of the soil fumigants metam, methyl isothiocyanate, and dazomet. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, **42**(20): 19-24.
- Korunic Z., Fields P., Kovacs M., Noll J., Lukow O., Demianyk C., Shibley K. 1996.** The effect of diatomaceous earth on grain quality. *Postharvest Biol. Technol.*, **9**: 373-387.
- Korunic Z. 1998.** Diatomaceous earths, a group of natural insecticides. *Journal of Stored Products Research*, **3**:87-97.
- Korunić Z., Mackay A. 2000.** Grain surface-layer treatment of diatomaceous earth for insect control. *Arhiv za higijenu i toksikologiju*, **51**(1): 1-11.
- Kossou D. K., Bosque-Pérez N. A., Mareck J.H. 1993.** Effets de l'égrenage du maïs sur l'oviposition et le développement du charançon du maïs. *Journal of Stored Products Research*, **28** (3): 187-192.
- Kossou D.K., Atachi P., Zannou T.E., Bougourou S. 2007.** Evaluation de l'activité insecticide de deux plantes *Hyptis suaveolens* (Linn) et *Khaya senegalensis* (A. Juss) sur les insectes ravageurs du niébé (*Vigna unguiculata* L. Walp.). *Sciences et Nature*, **4**(1): 17-26.
- Kouninki H., Hance T., Djossou J., Noudjou F., Lognay G., Malaisse F., Ngassoum M.B., Mapongmetsem P.M., Ngamo L.S.T., Hanbruge E. 2010.** Persistent effect of a preparation of essential oil from *Xylopiya aethiopica* against *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Bruchidae). *African Journal of Agricultural Research*, **5**(14): 1881-1888.
- Kumar R. 1991.** La lutte contre les insectes ravageurs: L'agriculture en régions tropicales. Karthala C.T.A (éds). Paris, France., MITL, MSFT. 177-228p.
- La Hue D.W. 1970.** Evaluation malathion, diazinon, a silica aerogel, and a diatomaceous earth as protectants on wheat against lesser grain borer attack in small bins. *USDA/ARS Marketing Research Report*, No1: 860. 12p.
- Lezine A.M. 1986.** Environnement et paléo-environnement des Niayes depuis 12 000 ans B.P. In INQUA-ASEQUA, Symposium International. Changements globaux en Afrique durant le Quaternaire-Passé-Présent-Futur - Dakar 21-28 Avril 1986. Ed. ORSTOM.
- Lienard V., Seck D. 1994.** Revue des méthodes de lutte contre *Callosobruchus maculatus* F. (Coleoptera: Bruchidae), ravageur des grains de niébé (*Vigna unguiculata* L. Walp) en Afrique Tropicale. *Insect Sci. Appl.*, **15** (3): 301-311.
- Lorini I., Schneider S. 1994.** Pragas de grãos armazenados: resultados de pesquisa. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 48p.

- Lorini I. 1998.** Controle integrado de pragas de grãos armazenados. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 52p.
- Mahdi S.H.A., Khalequzzaman M. 2006.** Toxicity Studies of some inert dusts with the Cowpea Beetle, *Callosobruchus maculatus* (Fabricius) (Coleoptera: Bruchidae). *Journal of Biological Sciences*, **6**(2) 402-407.
- Mangel M., Rosenheim J.A., Alder F.R. 1994.** Clutch size offspring performance and intergenerational fitness. *Behav. Ecol.* **5**: 412-417.
- Martin A. 1970.** Les nappes de la presqu'île du Cap Vert (République du Sénégal). Leur utilisation pour l'alimentation en eau de Dakar *Rapp. BRGM*: 56p.
- McLaughlin A. 1994.** Laboratory trials on desiccant dust insecticides. *In*: Highley, E., Wright, E.J., Banks, H.J., Champ, B.R. (Ed), Proceedings of the 6th International Working Conference on Stored-Product Protection, Canberra Australia, 17-23 april 1994, CABI, London, pp: 638-645.
- MEPN. 1997.** Programme National d'Action pour l'Environnement, Dakar, 158p.
- MEPN. 2005.** Rapport sur l'état de l'Environnement au Sénégal, MEPN, 231p.
- Mewis I., Ulrichs Ch. 2001.** Action of amorphous diatomaceous earth against different stages of the stored product pests *Tribolium confusum*, *Tenebrio molitor*, *Sitophilus granarius* and *Plodia interpunctella*. *Journal of Stored Products Research*, **37**: 153-164.
- Michel P. 1973.** Les bassins des fleuves Sénégal et Gambie. Etude géomorphologique. *Mém. ORSTOM*, n° 63 (3 tomes): 752p.
- Mikolo B., Massamba D., Matos L., Lenga A., Mbani G1., Balounga P. 2007.** Conditions de stockage et revue de l'entomofaune des denrées Stockées du Congo-Brazzaville. *Journal des Sciences*, **7**(1): 30-39.
- Mineau P. 2005.** Poisoning of raptors with organophosphorus and carbamate pesticides with emphasis on Canada, U.S. and U.K., *Journal of Raptor Research*, **33**: 1-37.
- Moore D.M., Reynolds R.C. 1989.** X-ray diffraction and the identification and analysis of clay minerals, Oxford University Press. Oxford.
- Muatinte B.L., Van Den Berg J., Santos L.A. 2014.** *Prostephanus truncatus* in Africa: a Review of Biological trends and Perspectives on future Pest Management Strategies. *African Crop Science Journal*, **22**(3): 237-256.
- Mulungu L.S., Kubala M.T., Mhamphi G.G., Misangu R., Mwatawala M.W. 2010.** Efficacy of protectants against maize weevils (*Sitophilus zeamais*, Motschulsky) and the larger grain borer (*Prostephanus truncatus*, Horn) for stored maize. *International Research Journal of Plant Science*, **1**(6):150-154.

- Murdock L.L., Shade R.E., Kitch L.W., Ntourkam G., Lowenberg-Deboer J., Huesing J.E., Moar W., Chamblis O.L., Endondo L., Wolfson J.L. 1997.** *Post-harvest storage of cowpea research. Copublication of IITA and JIRCAS*: 303-312.
- Nansen C., Meikle W.G., 2002.** The biology of the larger grain borer, *Prostephanus truncatus* (Horn) (Coleoptera: Bostrichidae). *Integrated Pest Management Reviews* 7: 91-104.
- Napaleao T.H., Belmonte B.D.R., Pontual E.V., Albuquerque de L.P., Sa R.A., Paiva L.M., Coelho L.C.B.B., Paiva P.M.G. 2013.** Deleterious effects of *Myracrodruon urundeuva* leaf extract and lectin on maize weevil, *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). *Journal of Stored Products Research*, 54: 26-33.
- Ndiaye M. 1996.** Etude de pré vulgarisation du niébé en milieu paysan dans les zones nord et centre nord du Sénégal. *ISRA, Document de travail et études*, 5(2): 27 p
- Ndong A., Kébé Kh., Thiaw Ch., Diome T., Sémbène M. 2012.** Genetic Distribution of the Cowpea (*Vigna Unguiculata* L.Walp) Bruchid (*Callosobruchus Maculatus* F., Coleoptera, Bruchidae) populations in Different Agro-Ecological Areas of West Africa. *Journal of Animal Science Advances*, 2(7): 616-630.
- Ndomo A.F., Tapondjou A.L., Tendonkeng F., Tchouanguiep F.M. 2009.** Evaluation des propriétés insecticides des feuilles de *Callistemon viminalis* (Myrtaceae) contre les adultes d'*Acanthoscelides obtectus* (Say) (Coleoptera; Bruchidae), *Tropicultura J.* 27 (3) : 137-143.
- Ngamo L.S.T., Ngassoum M.B., Ousman A., Nukenine E.C., Mukala O.E. 2001.** Protection of stored maize against *Sitophilus zeamais* (Motsch.) by use of essential oils of spices from Cameroun. *Proceedings of the 53rd International Symposium on Crop Protection. Gent, Belgium*, 66(2a): 473-478.
- Ngamo L.S.T., Hance T. 2007.** Diversité des ravageurs des denrées et méthodes alternatives de lutte en milieu tropical. *Tropicultura*, 25(4): 215-220.
- Ngamo T.L.S., Ngassoum M.B., Mapongmetsem P.M., Malaisse F., Haubruge E., Lognay G., Hance T. 2007.** Current post harvest practices to avoid insects attacks on stored grains in northern Cameroon. *Agricultural Journal*, 2(2) : 242-247.
- Nouagovi C.O.B. 2013.** Conception d'un projet de création d'une ferme agropastorale à Kolda au Sénégal. Mémoire Master professionnel en Science de Gestion, CESAG. 70p.

- Noudjou F., Kouninki H., Hance T., Haubruge E., Ngamo L.S.T., Maponmestsem P.M., Ngassoum M.B., Malaisse F., Marlier M., Lognay G. 2007.** Composition of *Xylopi aethiopica* (Dunal) A. Rich essential oils from Cameroon and identification of a minor diterpene: ent-13-epi manoyl oxide. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* **11** (3) : 193-199.
- Noury M.** Classification des roches en fonction de leur granulométrie. TUE 122 TP 1 Granulométrie. 46p. www.uj-grenoble.fr (consulté le 17 novembre 2015).
- Ntsam S. 1989.** Pourquoi stocker? In : *Céréales en régions chaudes*. AUPELF-UREF, Eds John Libbey Eurotext, Paris: 3-8.
- Nukenine E.N., Monglo B., Awasom I., Tchuenguem F.F.N., Ngassoum M.B. 2002.** Farmers' perception on some aspects of maize production and infestation levels of stored maize by *Sitophilus zeamais* in the Ngaoundere region of Cameroon. *Journal of Biological Biochemical Sciences*, **12** :18-30.
- Odah B.K. 1995.** Impact du développement de *Callosobruchus maculatus* F. (Coleoptera: Bruchidae) sur les graines de trois variétés de *Vigna unguiculata* L. Walp. Thèse de D.E.A., Université du Bénin, Lomé-Togo. 67p.
- Ogendo J.O., Deng A.L., Belmain R.S., Musandu A.A.O. 2004.** Effect of insecticidal plant materials *Lantana camara* L. and *Tephrosia vogelli* Hook on the quality parameters of stored maize. *Journal of Food Technology in Africa*, **9**: 29-36.
- Ouedraogo P.A. 1991.** Le déterminisme du polymorphisme imaginal chez *Callosobruchus maculatus* F. (Coleoptera : Bruchidae), son importance sur la biologie de cette bruche. Thèse Doctorat. Université Tours (France). 197p.
- Ouedraogo P.A., Sou S., Sanon A., Monge J.P., Huignard J., Tran B., Credlang P.F. 1996.** Influence of temperature and temperature and humidity on population of *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Bruchidae) and its parasitoid *Dinarmus basalis* (Pteromalidae) in two climatic zones of Burkina Faso. *Bulletin of Entomology Research*, **86**: 695-702.
- Paliwal R.L., Granados G., Lafiite H.R., Violie A.D. 2002.** Le maïs en zones tropicales: Amélioration et production. *FAO*, Rome. 382p.
- Panisset J.C., Dewailly É., Doucet-Leduc H. 2003.** Contamination alimentaire. In environnement et santé publique: fondements et pratiques. Editions TEC et DOC. Edisen. 1023p.
- Pasquet Fotso. 1994.** Répartition des Cultivars de Niébé *Vigna Unguiculata* (L) Walp du Cameroun; Influence du Milieu et des Facteurs Humains; dans: *Journal D'Agriculture Traditionnelle et Botanique Appliquée, nouvelle série*, **36**(2): 93-143.

- PICS, 2008.** Projet de l'Université de Perdue sur le Stockage Amélioré du Niébé. Manuel de Formation des Techniciens. 84p.
- Philogène B.J.R., Regnault-Roger C., Vincent C. 2002.** Produits phytosanitaires insecticides d'origine végétale: promesses d'hier et d'aujourd'hui. *In* Regnault-Roger C., Philogène B.J.R., Vincent C. *Biopesticides d'origine végétale*. Lavoisier, Tec & Doc, Paris, pp. 1-17.
- Plarre R., Wohlgemuth R., Harnisch R. 1993.** Effectiveness of Insecticides as Fabric Protectants to Control Stored Product Pests. GTZ Hamburg, 138p.
- Prates H.T., Santos J.P., Waquil J.M., Fabris J.D., Oliveira A.B., Foster J.E. 1998.** Insecticidal activity of monoterpenes against *Rhyzopertha dominica* (F.) and *Tribolium castaneum* (Herbst). **34**(4) : 243-249.
- Provost C., Coderre D., Lucas E., Chouinard G., Bostanian N.J. 2003.** «Impact d'une dose sublétales de lambda-cyhalothrine sur les prédateurs intraguilles d'acariens phytophages en vergers de pommiers». *Phytoprotection*, **84**: 105-113.
- Quarles W., Winn S. 1996.** Diatomaceous earth and stored product pests. *The IPM Practitioner*, **18** (5/6): 1-10.
- Regnault-Roger C., Philogène B.J.R., Vincent C. 2008.** Biopesticides d'origine végétale (2^{ème} éd.). Lavoisier, Paris. 550p.
- Riyad A.A.I., Salem Q.A.N., 2006.** Inert dusts to control adults of some stored product insects in stored wheat. *Rafida in journal of science*, **17**(10): 26-33.
- Roger J., Noël B.J., Barousseau J.P., Serrano O., Nehlig P., Duvail C. 2009.** Notice explicative de la carte géologique du Sénégal à 1/500 000, feuilles nord-ouest, nord-est et sud-ouest. Ministère des Mines, de l'Industrie et des PME, Direction des Mines et de la Géologie, Dakar, 61p.
- Rohitha Prasantha B. D., Reichmuth, Büttner. 2003.** Effect of diatomaceous earths on the performance of *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Bruchidae). *Advances in stored protection. Proceedings of the Eighth International Working Conference on Stored Product Protection*, York, UK: 208-216.
- Sankara F., Dabire L.C.B., Dugravot S., Cortesero A.M., Sanon A. 2012.** Capacités de discrimination des femelles de quatre souches de *Callosobruchus maculatus* Fab. (Coléoptera: Chysomelidae, Bruchinae) pour la localisation de l'hôte et la ponte aux dépens d'hôtes secondaires. *International Journal of Biological and Chemical Sciences* **6**(3):1303-1315.

- Schuster C.L., Smeda R.J. 2007.** Management of *Amaranthus rudis* S. In glyphosate resistant corn (*Zea mays* L) and soybean (*Glycine max* L. Merr.). *Crop Protection*, **26**: 1436-1443.
- Seck D., Sidibe B., Haubruge E., Gaspar Ch. 1991.** La protection de stocks de niébé (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) en milieu rural: utilisation de différentes formulations à base de neem (*Azadirachta indica* A. Juss.) provenant du Sénégal. *Méd. Fac.Landbouww. Rijksuniv. Gent.*, **56**(3b) : 1217-1224.
- Seck D., Sidibé B., Haubruge E., Liénard V., Gaspar C. 1992.** La résistance variétale du niébé (*Vigna unguiculata* L. Walp.) à *Callosobruchus maculatus* F. (Col. Bruchidae): évaluation et perspectives d'utilisation au Sénégal. *Mededelingen van de Faculteit Landbouw wetenschappen. Rijks universiteit Gent*, **57**: 743-750.
- Seck D., Lognay G., Haubruge E., wathelet JP., Marlier M., Gaspar C., Severin M. 1993.** Biological activity of the shurd *Boscia senegalensis* (Pers.) Lam. Ex Poir. *J.Chem. Ecol.*, **19**(2): 377-389.
- Seck M., Moussa Na Abou M., Wade S., Thomas J-P., 2005.** Adaptation aux Changements climatiques : l'étude de cas des systèmes de production agricoles de Sébikotane (Sénégal). ENDA TM. 33 p.
- Service Régional de la Prévision et de la Statistique de Matam. 2005.** Situation Economique et Sociale de la Région de Matam, ANSD, Matam. 159p.
- Serieyssol K. 1993.** Atlas de Diatomées des diatomites d'Auvergne.
- Shams G., Safaralizadeh M.H., Imani S. 2011.** Insecticidal effect of diatomaceous earth against *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Bruchidae). *African Journal of Microbiology Research*, **5**(21): 3574-3578.
- Shayesteh N., Ziaee M. 2007.** Insecticidal efficacy of diatomaceous earth againts *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae). *Caspian Journal of Environmental Sciences*, **5**(2): 119-123.
- Singh B.B., Singh S.R. 1992.** Sélection du niébé résistant aux bruches. La recherche à l'IITA, **5**: 1-5.
- Singh S.R., Allen D.J. 1996.** Insectes nuisibles et les maladies du niébé *Vigna unguiculata* Walp. Amélioration des légumineuses. IITA, OYO Road, Nigéria, 115p.
- Sow E. 2011.** Etude des terres à diatomées du lac Tanma. Rapport *PROJET CORAF / DFID*, septembre 2011. 8p.

- Sow E., Diène M. 2002.** Résultats préliminaires sur les diatomées de la Casamance (Sénégal): mise en évidence de deux périodes pluviales le long du sondage de Sédhiou. *Diatom Research*, **17** : 1-17.
- Sow M., Marone M., Ndiaye S. 2004.** Etude socio-économique de l'utilisation des pesticides au Sénégal. 146p.
- Stathers T.E., riwa W., mvumi B.M., mosha R., kitandu L., mngara K., kaoneka B., Morris M. 2008.** Do diatomaceous earths have potential as grain protectants for smallholder farmers in sub-Saharan Africa? The case of Tanzania. *Crop Protection*, **27**: 44-70.
- Stejskal V., Kucerova Z. 1996.** The effect of grain size on the biology of *Sitophilus granarius* L. (Coleoptera: Curculionidae). I. Oviposition, distribution of eggs and adult emergence. *Journal of Applied Entomology*, **120**: 143-146.
- Strong D.R., Lawton J.H., Southwood T.R.E. 1984.** Insects on Plants: Community Patterns and Mechanisms. *Blackwell Science, Oxford*, Royaume-Uni.
- Subramanyam Bh., Roesli R., 2000.** Inert dust. In: Subramanyam Bh., Hagstrum D.W. (Eds), Alternatives to pesticides in stored products IPM. Kluwer Academic Publishers, Norwell, MA USA, pp. 321-380.
- Tapondjou L.A., Adler C., Bouda H., Fontem D.A. 2002.** Efficacy of powder and essential oil from *Chenopodium ambrosioides* leaves as post-harvest grain protectants against six-stored product beetles. *Journal of Stored Products Research*, **38**: 395-402.
- Tapondjou L.A., Adler C., Bouda H., Fontem D.A. 2003.** Bioefficacité des poudres et des huiles essentielles des feuilles de *Chenopodium ambrosioides* et *Eucalyptus saligna* à l'égard de la bruche du niébé, *Callosobruchus maculatus* Fab (Coleoptera, Bruchidae). Cahiers d'études et de recherches francophones, Agriculture, **12**(6) : 401-407.
- Tarawali S.A., Singh B.B., Peters M., Blade S.F. 1997.** Cowpea haulms as fodder; In Advances in cowpea research. Sayce Publishing, Devon, UK: 313-325.
- Tchamou K.S. 1995.** Impact des hyménoptères parasitoïdes: *Dinarmus basilis* R. et *Eupelmus vuilleti* Craw; sur les populations de *Callosobruchus maculatus* F. dans un système de stockage de niébé: *Vigna unguiculata* L. Walp. Mémoire de D.E.A. de Biologie de Développement. Université du Bénin. Lomé-Togo : 54p.
- Tchokossi E.Y. 1995.** Conditions d'induction de la quiescence reproductrice chez *Callosobruchus maculatus* F. la bruche du niébé (*Vigna unguiculata* Walp) dans un système de stockage en zone Guinéenne. Mémoire de D.E.A. de Biologie de Développement ; Université du Bénin, Lomé-Togo: 44p.

- Tefera T., Kanampiu F., De Groot H., Hellin J., Mugo S., Kimenju S., Beyene Y., Boddupalli P.M., Shiferaw B., Banziger M. 2011.** The metal silo: an effective grain storage technology for reducing post-harvest insect and pathogen losses in maize while improving small holder farmers' food security in developing countries. *Crop Protection*; **30**: 240-245.
- Thiam B., Ducommun G. 1993.** Protection naturelle des végétaux en Afrique. ENDA, Tiers-monde, Dakar. 213p.
- Thorez J. 1976.** Practical identification of clay minerals: A handbook for teachers and students in clay mineralogy. Lelotte éd. Belgique, 90p.
- Trénous J.Y., Elouard P., Simmler L., Benoit H., Martin A. 1968.** Extension du Lutétien inférieur à la zone du lac Tanma (Sénégal occidental). *Annales de la Faculté des Sciences, Université de Dakar, Série Sciences de la Terre*, **22** (2): 145-150.
- Trematerra P., Gentile P., Djikoloum T. 2002.** Traditional cereal storage and insect pests in some villages of southern Chad. Advances in stored product protection. *Proceedings of the 8th International working Conference on Stored Product Protection*, York, UK, 22-26 July 2002.
- Tuluker F.A., Howse P.E. 1994.** Repellent, toxic and food protectant effects on pitraj (*Aphanamixis polystrachya*) extracts against the pulse beetle (*Callosobruchus chinensis*) in storage. *J. Chem. Ecol.*, **20**: 899-908.
- Utida S. 1981.** Polymorphism and phase dimorphism in *Callosobruchus maculatus*; In: *The ecology of Bruchids attacking legumes*. Ed. by Labeyrie, Junk, The Hague: 143-147.
- Vayias B.J., Athanassiou C.G., Buchelos C.Th. 2008.** Evaluation of resistance development by *Tribolium confusum* Du Val (Coleoptera: Tenebrionidae) to diatomaceous earth under laboratory selection. *Journal of Stored Products Research*, **44**: 162-168.
- Vayias B.J., Athanassiou C.G., Kavallieratos N.G., Tsesmeli C.D., Buchelos C.T. 2006.** Persistence and efficacy of two diatomaceous earth formulations, and a mixture of diatomaceous earth with natural pyrethrum against *Tribolium confusum* Jacquelin du Val (Coleoptera: Tenebrionidae) on wheat and maize. *Pest Management Science*, **62** : 456-464.
- Weidner H., Rack G. 1984.** Tables de détermination des principaux ravageurs des denrées entreposées dans les pays chauds, GTZ, Eschborn. 148p.
- World Health Organisation, 2008.** Clinical Management of acute pesticide intoxication prevention of suicidal behaviours. Management of Mental and Brain Disorders/ Department of Mental Health and Substance Abuse, 25p.

- Yuya A.I., Tadesse A., Azerefegne F., Tefera T. 2009.** Efficacy of combining Niger seed oil with malathion 5% dust formulation on maize against the maize weevil, *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). *Journal of Stored Products Research*, **45**: 67-70.
- www.gnis-pedagogie.org. 2012.** L'importance économique de la production du maïs. Consulté le 22/06/2014.
- Planetoscope, 2013.** www.planetscope.com/cereals/190-production-mondiale. (20/11/2013).

ANNEXES

Annexe 1:

Article publié dans IJBSC. Int. J. Biol. Chem. Sci. 9(3): 1644-1653, June 2015.



**International Journal
of Biological and
Chemical Sciences**

Available online <http://ajol.info/index.php/ijbcs>

Int. J. Biol. Chem. Sci. x(x): xx-xx, xxxx

ISSN 1997-342X (Online), ISSN 1991-8631 (Print)

© 2015 International Formulae Group. All rights reserved.

Review Paper <http://indexmedicus.afro.who.int>

Substances inertes et plantes à effet insecticide utilisées dans la lutte contre les insectes ravageurs des céréales et légumineuses au Sénégal et en Afrique de l'Ouest

Papa Seyni CISSOKHO¹, Momar Talla GUEYE¹, El Hadj SOW² et Karamoko DIARRA³

*1*Institut de Technologie Alimentaire, Laboratoire des Analyses Phytosanitaires, BP 2765, Dakar

*2*Université Cheikh Anta Diop, Faculté des Sciences et Technique, Département de Géologie, BP 5005, Dakar

*3*Université Cheikh Anta Diop, Faculté des Sciences et Technique, Département de Biologie Animale, BP 5005, Dakar

*Auteur correspondant, E-mail : papaseynicissokho@yahoo.fr ; papseyni@gmail.com

Tél. (221)702008352

RESUME

La situation alimentaire est caractérisée au Sénégal et dans le Sahel par l'insuffisance des récoltes à laquelle s'ajoutent des pertes souvent élevées dues en grande partie aux attaques des insectes ravageurs au champ et dans les lieux de stockage. En Afrique subsaharienne, l'action des insectes déprédateurs de céréales et de légumineuses peut anéantir complètement, en quelques mois seulement, des stocks destinés aux vivres et aux semences si aucune protection n'est appliquée. Pour y apporter des solutions, les producteurs ont recours le plus souvent aux pesticides de synthèse. La résistance des insectes, les intoxications et les pollutions liées à l'utilisation des pesticides constituent de sérieux problèmes environnementaux et de santé publique. C'est ainsi que ces dernières années, de nombreux travaux ont été menés pour proposer des méthodes alternatives de protection, peu coûteuses et qui respectent l'environnement. Les insecticides naturels tels que les plantes à effet insecticide et les substances inertes (sable, cendre, terres à diatomées,...) méritent d'être valorisées afin de réduire l'utilisation des insecticides chimiques et protéger l'environnement. Ce travail basé sur une revue documentaire fouillée et actualisée vise à faire la genèse des méthodes alternatives de lutte contre les ravageurs des denrées en stockage en mettant l'accent sur les insecticides naturels et les substances inertes susceptibles d'améliorer la protection des récoltes sans danger. Les principales pratiques de stockage sont passées au peigne fin.

© 2015 International Formulae Group. All rights reserved.

Mots clés: Céréales, légumineuses, post-récolte, pesticides, substances inertes, plantes insecticides.

INTRODUCTION

D'après l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), le Fonds international de développement agricole (FIDA) et le Programme alimentaire mondial (PAM) (2013), 842 millions de personnes soit 12% de la population mondiale n'étaient pas en mesure de satisfaire leurs besoins énergétiques alimentaires entre 2011 et 2013. La grande majorité des personnes souffrant de la faim, soit 827 millions d'individus, vivent dans des pays en développement, où la prévalence de la sous-alimentation est aujourd'hui estimée à 14,3% de la population. L'Afrique subsaharienne n'a fait que de modestes progrès au cours de ces dernières années et reste la région à plus forte prévalence de sous-alimentation. Pourtant, le Centre Technique de Coopération Agricole et Rurale (CTA) (2012) estime que le tiers des aliments produits dans les pays industrialisés est jeté ou gaspillé et que par ailleurs, la quantité de nourriture perdue, de 1,3 milliards de tonnes correspond à la production totale de l'Afrique subsaharienne.

Le déficit en céréales et légumineuses de la plupart des pays sahéliens est resté chronique ces dernières années. En 2012, les baisses de production céréalière les plus importantes ont été enregistrées en Gambie (56%), au Tchad (49%), au Sénégal (36%), au Niger (31%), en Mauritanie (34%) et au Burkina Faso (20%). Entre une récolte sur un temps court et une consommation annuelle, une partie non négligeable des grains et graines est perdue à la suite de diverses déprédations dont les pertes les plus importantes sont infligées par des insectes coléoptères et lépidoptères. Les estimations fournies par la FAO (2012) à une échelle plus large, indiquent qu'en Afrique subsaharienne notamment, les pertes alimentaires par habitant sont de 120-170 kg/an et plus de 40% des pertes alimentaires sont constatées pendant la phase d'après récolte et la transformation des produits. En effet, les pertes post-récoltes de céréales, avant transformation, sont estimées à 10-20%, soit environ 4 milliards de dollars et représentent 13,5% de la valeur totale de la production céréalière de ces pays. Selon M'ella (2011), les dommages phénotypiques causés par les insectes et les pertes qu'ils provoquent, tant au champ qu'en stockage, peuvent exposer le producteur à l'insécurité et à la précarité.

Une étude récente menée par Guèye et al. (2012) a montré des dégâts et pertes causés par *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae) respectivement de l'ordre de 40% et 20% en quatre mois de stockage sur du maïs non traité. Des travaux en grenier paysan ont donné la même tendance sur les dégâts et pertes (Guèye et al., 2013).

La méthode la plus répandue actuellement pour prévenir les dégâts dus aux ravageurs des grains et graines est la lutte chimique avec des insecticides, le plus souvent organophosphorés et pyrèthrinoides. Les avantages de cette pratique sont liés à son coût qui peut être relativement faible, à sa facilité de mise en œuvre et à la durée de la protection qui peut se prolonger sur plusieurs mois. Cependant, les applications mal conduites des insecticides provoquent de sérieux inconvénients, notamment l'apparition de souches résistantes, l'intoxication chronique des consommateurs et un impact négatif sur l'environnement (Pretty et Hine, 2005). Face à cette situation, le recours à des méthodes efficaces mais non chimiques peut atténuer entre autres les problèmes liés aux résidus présents dans les aliments. La recherche de méthodes alternatives de protection des denrées stockées par l'usage de substances inertes telles que les terres à diatomées et les substances végétales à effet insecticide est prometteuse dans la lutte contre les insectes ravageurs des denrées stockées à l'échelle du paysan. Leur utilisation pose moins de problèmes sanitaires et écologiques (Guèye, 2012). Des méthodes alternatives de protection des denrées stockées par l'usage de substances inertes et végétales à effet insecticide sont envisagées.

Les insectes, principaux ravageurs des stocks de céréales et légumineuses

Les dégâts causés sur les stocks de céréales et légumineuses par les insectes a fait l'objet de nombreux travaux en Afrique. Leur action est d'autant plus nocive que dans beaucoup de pays africains, les récoltes ne couvrent pas les besoins alimentaires et nutritionnels des populations. *Caryedon serratus* (olivier), *Callosobruchus maculatus* (F.), *Acanthoscelides obtectus* (Say) sont parmi les plus grands ravageurs des légumineuses en Afrique. Quant aux céréales, les plus connus et présentant un intérêt économique sont *S.*

zeamais, *Tribolium castaneum* (Herbst), *Sitotroga cerealella* (Oliv.), *Corcyra cephalonica* et surtout *Prostephanus truncatus* (Horn). Ce dernier fut découvert au Sénégal récemment dans des stocks de maïs localisés vers le Sud-est du pays (Guèye et al., 2008a). Les pertes sur niébé peuvent atteindre 30% voire la destruction complète des stocks (Amevoïn et al., 2007).

Problématique de la lutte chimique contre les insectes des denrées stockées

Pour la protection des stocks vivriers et de semences, organochlorés, carbamates, organophosphorés et pyrèthrinoides de synthèse sont les pesticides les plus fréquemment utilisés (Guèye, 2012). D'après Isman (2006), plusieurs pays en développement ont encore recours au dichlorodiphényltrichloroéthane (DDT) et autres polluants organiques persistants (POP). En Afrique subsaharienne en particulier, environ 30% des produits commercialisés ne répondent pas aux normes de qualité internationale à cause du manque de moyen de contrôle efficace (FAO, 2001). Les insecticides posent en outre, des problèmes de disponibilité, de stockage et de coût. Selon Pesticide Action Network (PAN) Africa (2003) puis 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 des usages autres que ceux pour lesquels ils étaient destinés et les utilisent sans mesures de protection adéquates à cause des taux élevés d'analphabétisme. Une enquête menée au Sénégal par Guèye et al. (2008b) a établi une corrélation positive entre le niveau d'instruction des producteurs et les pratiques dangereuses quant à l'utilisation des pesticides. En effet, il est révélé l'usage de raticides, fongicides ou d'herbicides sur du maïs destiné à la consommation humaine.

Thiam et Ducommun (1993) évoquaient une contamination de l'environnement par les pesticides à toutes les périodes - production - mélange - applications des produits - transport et lors des semences des grains de céréales et légumineuses. Les pesticides peuvent être transportés soit par le vent au cours du traitement, soit par les grains traités après les semis dans les champs, soit par le biais du système d'égoûts 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 dans la chaîne alimentaire. Les travailleurs, les animaux domestiques et tous les autres êtres vivants dans les 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 agricoles, 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. L'utilisation des pesticides même à très faibles doses est souvent associée à des problèmes de santé et d'environnement. Les pesticides sont, de par leur nature, des produits dangereux et toxiques même à très faibles doses (Carlos, 2006). Selon Isman (2006) 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. L'utilisation inconsidérée des pesticides chimiques a 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 de nombreux prédateurs des parasites (Glitho et al., 2008). De nombreux pays, notamment ceux de l'Europe et de l'Amérique comme le Canada tout comme le Comité inter Etats de lutte contre la sécheresse au Sahel (CILSS) ont instauré une réglementation stricte vis-à-vis des pesticides afin de limiter leur utilisation entraînant le retrait de nombreux polluants organiques persistants (POPs) du secteur de la production alimentaire. Toutefois, cette réglementation n'est pas souvent appliquée en Afrique. C'est pourquoi, pour Glitho et al. (2008) les moyens naturels de contrôle constituent des éléments importants des systèmes de production. Les insecticides d'origine minérale et végétale sont parmi les sources les plus prometteuses pour les pays en développement.

Méthodes alternatives à la lutte chimique dans la protection des stocks

Substances inertes

L'utilisation des poudres inertes naturelles joue un rôle important dans la conservation des denrées stockées.

Leur principal avantage repose sur leur innocuité (Golob, 1997). Selon Banks et Fields (1995), Il existe quatre types de poudres inertes desséchantes abrasives, en l'occurrence la terre (Argile poudrée, sable, terre...), la terre à diatomées (Protect-It, Dryacide, Silicosec...), les gels siliceux, et les poudres inertes non siliceuses [(roches phosphatées, terre soufrée, chaux (hydroxyde de calcium), calcaire (carbonate de calcium), sel (chlorure de sodium)].

D'après Ebeling (1971), l'insecte meurt lorsqu'il a perdu 60% de son eau ou 30% de sa masse corporelle. La cendre et le sable fin sont utilisés pour traiter les stocks selon des proportions et des pratiques qui varient suivant les régions. Ces matériaux pulvérulents remplissent les vides entre les graines et constituent une barrière à la progression des femelles cherchant à pondre. Ces matériaux auraient un rôle abrasif sur les insectes et entraîneraient leur déshydratation en adsorbant ou abrasant le film lipodique protégeant leur cuticule (Cruz et Troude, 1988). Les doses préconisées varient de 1-2% du poids des denrées à 0,25%-0,5% suivant la qualité des poudres et la teneur en eau du grain qui ne doit pas dépasser 15%. L'utilisation de la cendre et du sable est limitée au stockage traditionnel en greniers. L'efficacité de ce moyen réside dans le fait qu'il entrave la mobilité des insectes. Au Mexique, les cendres volcaniques du mont Chichonal appliquées au maïs à 1% ont montré un bon contrôle de *P. truncatus* (Sanchez et al., 1989). Les zéolites, autres substances minérales inertes possédant des propriétés physiques semblables à celles des terres à diatomées ont donné des résultats satisfaisants à des doses de 0,5; 0,75 et 1 g/kg de blé au bout de trois semaines avec *S. oryzae* (L.) (96-98%), *Rhizopertha dominica* (F.) (70-82%) et *T. castaneum* (100%) (Kljajic et al., 2010).

Cas des terres à diatomées

Prises comme méthode environnementale acceptable, les terres à diatomées ont été les plus étudiées dans le domaine de l'utilisation de substances inertes dans la protection des stocks. Les terres à diatomées sont des dépôts géologiques de diatomites, qui sont des couches sédimentaires fossilisées d'algues microscopiques appelées diatomées. Le constituant majeur de la diatomite est de la silice (SiO₂) avec en plus des quantités

variables d'autres minéraux dont l'Aluminium, l'Oxyde de fer, l'Hydroxyde de calcium, le Magnésium et le Sodium.

L'efficacité insecticide de la terre à diatomées peut varier dans des limites assez larges selon l'origine du dépôt fossile exploité car tous les gisements n'ont pas la même composition (Korunic, 1998). Les facteurs importants pour l'efficacité d'une terre à diatomées sont une concentration en silice supérieure à 80%, un pourcentage élevé de fines particules, un pH inférieur à 8,5 et une densité inférieure à 300 g/l (Korunic, 1998).

Les terres à diatomées ont plusieurs avantages sur les denrées stockées à savoir une faible toxicité mammaire; en effet, elles peuvent assurer une protection à long terme contre les insectes ravageurs et peuvent facilement être enlevées de la graine durant le traitement (Athanassiou et al., 2005). Ces derniers ont mis en exergue l'efficacité et la persistance de trois formulations commerciales de terres à diatomées à savoir Insecto, PyriSec, et SilicoSec contre *S. oryzae* sur le blé et l'orge avec une forte mortalité des charançons (92%) et une réduction des émergences après neuf mois. Saez et Fuentes (2007) ont montré quant à eux l'importance de l'origine (eau douce ou marine) et du mode d'application des terres à diatomées sur *Cryptolestes ferrugineus*, *R. dominica*, *S. oryzae* et *S. granarius* par une différence d'adhérence des particules. Plusieurs facteurs sont connus pour affecter l'activité insecticide des terres à diatomées: l'humidité relative, la température, la source géologique, le type de grains, les espèces d'insectes, leur stade de développement et leur densité (Fields et Korunic, 2000a, Arthur, 2002). Ces facteurs sont à l'origine des difficultés à obtenir des résultats reproductibles au laboratoire ou entre les laboratoires (Fields et al., 2000b). Vayias et al. (2006) ont constaté que la terre à diatomée est beaucoup plus efficace lorsqu'elle est appliquée sur du blé plutôt que sur du maïs; de larges espaces entre les grains de maïs pourraient permettre aux insectes de ramper à travers et éviter les zones où la concentration de la terre à diatomées est élevée. Au laboratoire, Eberling (1971) a constaté que la perte ou la baisse de l'efficacité des poussières inertes peut être attribuée au ralentissement de la capacité d'adsorption par contact direct des couches lipidiques dans des conditions humides. Les résultats de Khakame et al. (2012) ayant obtenu de faibles mortalités

de *S. zeamais* sur les grains de maïs ayant une humidité de 16% par rapport à ceux ayant des humidités respectives de 10, 12 et 14% confortent ce dernier auteur.

Substances végétales dans la gestion des insectes ravageurs des denrées stockées

Des programmes de recherche sur les plantes à effet insecticide ont débouché sur de très nombreuses communications et publications scientifiques à travers l'Afrique subsaharienne (Seck et al., 1996; Guèye, 2012, Diouf et al., 2014). Ces travaux ont largement contribué à une meilleure compréhension des activités insecticide, répulsive et antiappétante de certaines substances végétales vis-à-vis des insectes.

Plantes à effet insecticide

Plusieurs plantes testées sur les Coléoptères, ravageurs du maïs, du manioc, du niébé et du haricot ont prouvé leur potentiel insecticide (Glitho et al., 2008). Les Méliacées sont parmi les plantes les plus expérimentées pour leur effet de contact et le neem en est sans doute l'espèce la plus étudiée dans ce cadre (Facknath, 2006). En effet, il a été démontré que l'extrait du neem constitue un mélange de plus de 100 composés qui sont responsables de la mortalité des insectes (Addea-Mensah, 1998). La poudre des grains de neem à un taux de 2g/kg de maïs a causé 100% de mortalité de *S. oryzae* après dix jours de traitement (Mahanti, 2002). Srinivasan (2008), après neuf mois de traitement de pois à l'huile des grains de neem à 10 et 5 ml/kg a rapporté que les dégâts étaient respectivement de l'ordre de 9,2 à 15% en comparaison au témoin non traité où ils étaient de 96%. D'autres plantes d'autres genres ont aussi été appliquées avec succès contre les ravageurs des denrées stockées. Au Cameroun, de la cendre de feuilles de *Eucalyptus grandis* sur *S. zeamais* à une dose de 20g/2 kg a montré une bonne efficacité sur du maïs, au bout de six mois (Akob et Ewete, 2007). Guèye et al. (2012) ont quant à eux démontré l'efficacité par contact de poudre d'épis vides de maïs avec une efficacité équivalente à celle du pyrimiphos méthyl à une dose égale à 4% dans le contrôle de *S. zeamais*. Par ailleurs, il a été mis en évidence que quand les doses augmentent, l'application de la poudre d'épis allonge le développement larvaire et diminue à la fois l'intervalle de

temps dans lequel les adultes émergent de 35 à 96% et la fécondité de 89 à 99%.

Huiles essentielles

Plusieurs travaux ont montré que les huiles essentielles des plantes sont biologiquement actives contre les ravageurs des denrées stockées par contact direct ou par inhalation. Le spectre d'action des huiles essentielles est très diversifié; elles jouent un rôle de régulateur de croissance et possèdent des propriétés antimicrobiennes et antioxydantes (Goudoum, 2010). Les huiles essentielles de *O. gratissimum* et *Xylopi aethiopica* ont montré une activité insecticide sur *S. zeamais* (Ngassoum et al., 2003). Toutefois, la sensibilité des larves de *T. castaneum* à ces deux huiles essentielles diminue avec l'âge (Kouninki et al., 2005). Rajendran et Spiranjini (2008) ont montré que les huiles essentielles appartenant principalement aux Apiaceae, Lamiaceae, Myrtaceae et leurs composants dont les monoterpénoides testées pour leur toxicité fumigène sont efficaces contre les ravageurs des denrées stockées y compris *S. zeamais* et *T. castaneum*. Nguemtchouin et al. (2010) ont obtenu 100% de mortalité à la dose de 10% (p/p) après utilisation de l'huile essentielle récoltée à partir du mélange de kaolinite et d'huile essentielle de *X. aethiopica*. Des tests en grenier ont permis de garder des épis de maïs en sandwich avec *Hyptis spicigera* pendant deux années successives sans aucune infestation malgré que les greniers soient infestés artificiellement par sept couples de *S. zeamais* et autant de *T. castaneum* (Guèye, 2012). Ce dernier a montré que les effluves issues de la plante essentiellement composés de monoterpènes dont α -pinène (38.9%), b-pinène (14.7%) et caryophyllène (12.6%) ont éliminé les adultes introduits et empêché toute possibilité de réinfestation au cours du stockage.

Quelques expériences sénégalaises en matière de lutte par des plantes à effet insecticide

La bruche du niébé *C. maculatus* a été l'une des espèces qui très tôt a attiré le plus d'attention dans les programmes de lutte contre les ravageurs. Seck (1994) a testé près d'une dizaine de plantes entre autres contre les bruches du niébé et de l'arachide. Parmi celles-ci, *B. senegalensis* a fait l'objet de recherches très poussées. L'extrait acétonique de fruits de *B. senegalensis* montre un puissant effet

fumigant sur *C. maculatus* et *S. cerealella*. Le dosage quantitatif des composés actifs de *B. senegalensis* et les valeurs de CL50 obtenues des tissus de cette plante comparées à celles des molécules pures montrent que l'activité biologique de *B. senegalensis* est due à la libération de MITC à partir d'un glucosinolate précurseur, la glucocapparine contenue dans les feuilles et fruits (Seck et al., 1993). Dans ce cadre, des feuilles fraîches broyées de *B. senegalensis* appliquées sur graines de niébé infestées par *C. maculatus*, à la concentration de 2 à 4% (P/P) ont montré une activité biologique se traduisant par une mortalité de 63 à 100% chez les adultes dans un délai de 24 à 48 heures, avec une inhibition de l'émergence et des dégâts de la population F1 de *C. maculatus* (Seck et al., 1993). Sur arachide, Guèye et al. (2011) ont obtenu avec les fruits et feuilles frais de cette plante une mortalité totale de *C. serratus* respectivement aux doses de 3 et 6%. Le stade physiologique de l'organe s'est montré très important dans l'efficacité de la plante sur les insectes car celle-ci donne un meilleur rendement à l'état vert (Guèye, 2012). Par la suite, des dosages de la glucocapparine ont montré le rôle de la période et de la localité de récolte sur l'efficacité des organes de *B. senegalensis* (Guèye et al., 2013a). Le dosage du principe actif, le MITC sur des grains soumis à une fumigation a révélé que ce dernier restait dans les grains et se présente donc comme un résidu au même titre que les pesticides (Guèye et al., 2013b).

Divers autres travaux surtout de laboratoire ont été menés pour expérimenter des solutions contre les bruches de l'arachide et autres déprédateurs des céréales et légumineuses. Des extraits à l'éther de pétrole et au méthanol obtenus de poudre de feuilles de *Lantana camara* et d'*Azadirachta indica* ont montré une même efficacité sur les œufs de *C. serratus* avec une mortalité de 90% à la concentration de 0,1 gm/l (Guèye, 2008). De même, Thiaw et Sembène (2010) ont abouti à des essais concluants contre la bruche de l'arachide avec des extraits de *Calosopris procera*. Sur base d'application d'extraits au chloroforme, méthane et cyclohexane de *Crataeva religiosa*, Diouf et al. (2014) ont révélé une plus forte sensibilité de *C. maculatus* que *S. zeamais* avec dans les deux cas une mortalité plus élevée avec les extraits au chloroforme.

Spinosad, une nouvelle opportunité dans la protection des denrées stockées

Le *spinosad* est perçu comme un biopesticide commercial à risque réduit utilisé dans la gestion de nombreuses espèces d'insectes ravageurs (Hertlein et al., 2011). Son activité est attribuée aux spinosynes A et D qui sont des produits de fermentation d'une bactérie actinomycète du sol, *Saccharopolyspora spinosa*. Selon ces mêmes auteurs, le *spinosad* serait efficace contre les insectes des denrées les plus communs ayant surtout un impact économique avéré: *S. zeamais*, *P. truncatus*, *T. castaneum*, *R. dominica*, *Cryptolestes pusillus*, *Plodia interpunctella*, *Corcyra cephalonica* et *Sitotroga cerealella*. Chintzoglou et al. (2008) ont rapporté que la mortalité de *S. oryzae* exposé pendant quatorze jours sur le blé traité avec *spinosad* aux doses de 0,0625, 0,1875 et 0,625 ppm s'échelonne entre 83 et 100%. Cependant, une étude antérieure de Vayias et al. (2006) avait démontré que quoique les performances du *spinosad* ne soient pas affectées par le type de grain, son efficacité sur le maïs est moins stable au-delà de 6 mois. Ces derniers le présentent comme une solution sûre du fait de sa faible toxicité mammaire (DL50 oral sur rat > 5000 mg/kg de poids corporel).

Conclusion

L'un des facteurs clés de la sécurité alimentaire demeure une bonne conservation des récoltes. Par conséquent, une stratégie phytosanitaire à même de contenir les déprédations à des niveaux inférieurs au seuil de nuisibilité économique est nécessaire. Les plantes à effets insecticides et les substances inertes ainsi que les entomopathogènes sont présentés de nos jours comme une alternative aux pesticides de synthèse. Bien qu'étant moins rémanents que les insecticides de synthèse, ils peuvent présenter moins de risques d'accoutumance pour les insectes ainsi que la présence de résidus dans les aliments. Il serait donc intéressant d'approfondir les investigations sur leur potentiel biocide pour asseoir une lutte raisonnée et efficace contre les ravageurs des denrées alimentaires stockées.

REFERENCES

- Addea-Mensah I. 1998. The uses of the neem (*Azadirachta indica*) in Ghana and their relations of the chemical constituents and Biological activities. Proc. Seminar held in Dodowa: the potentials of the neem trees in Ghana, 11-26.
- Akob CA, Ewete FK. 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.
- Amevoin K, Sanon A, Apossaba M, Glitho IA. 2007. Biological control of bruchids infesting cowpea by the introduction of *Dinarmus basalis* (Rondani) (Hymenoptera: Pteromalidae) adults into farmers stores in West Africa. *J. Stor. Prod. Res.*, **43**: 240-247.
- Arthur FH. 2002. Survival of *Sitophilus oryzae* (L.) on wheat treated with diatomaceous earth: impact of biological and environmental parameters on product efficacy. *J. Stor. Prod. Res.*, **38**(3): 305-313.
- Athanassiou CG, Kavallieratos NG, Economou LP, Dimizas CB, Vayias BJ, Tomanovic S, Milutinovic M. 2005. Persistence and efficacy of three diatomaceous earth formulations against *Sitophilus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae) on wheat and barley. *J.Econ. Entomol.*, **98**: 1404-1412.
- Banks JH, Fields P. 1995. Physical methods for insect control in stored-grain ecosystems. in *Stored Grain Ecosystems*, Jayas DS, White, Muir WE (Eds). Marcel Dekker Inc: New York, 353-409.
- Carlos JSP. 2006. «Exposition humaine aux pesticides: un facteur de risque pour le suicide au Brésil». *Vertigo-La revue en Science de l'Environnement*, **7**: 18.
- Chintzoglou GJ, Athanassiou CG, Markoglou AN, Kavallier NG. 2008. Influence of commodity on the effect of spinosad dust against *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera: Bostrychidae) and *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera : Curculionidae). *Int. Pest. Mngt. J.*, **54**(4): 277-285.
- Cruz JF, Troude F. 1988. *Conservation des Grains en Régions Chaudes*. Collection du Ministère de la Coopération et du Développement. Techniques Rurales en Afrique. CEEMAT / CIRAD: Montpellier ; 548.
- CTA. 2012. Gaspillage: occasions manquées dans le combat pour accroître la sécurité alimentaire. Note politique N°7, 4 p.
- Diouf EHG, Samb A, Seck D, Diop M. 2014. Phytochemical and insecticidal study of three organic extracts of *Crataeva religiosa* Forst on *Sitophilus zeamais* and *Callosobruchus maculatus*. *Int. Res. J.Pharm. App. Sci.*, **4**(4) 13-18.
- Ebeling W. 1971. Sorptive dusts for pest control. *An. Review of Entomol.*, **16**: 123-158.
- Facknath S. 2006. Combination of neem and physical disturbance for the control of four insect pests of stored products. *Int.J. Tropical Ins. Sci.*, **26**(1) 16-27.
- FAO (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture), FIDA (Fonds international de développement agricole), PAM (Programme alimentaire mondial). 2013. L'état de l'insécurité alimentaire dans le monde 2013. Les multiples dimensions de la sécurité alimentaire. Rome. FAO. Septembre 2013. 63 p.
- FAO (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture). 2001. Les pesticides périmés menacent l'Afrique d'une catastrophe sanitaire. *Afrique relance*. ONU, vol.15. 42 p.
- FAO (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture). 2012. Gaspillages dans le monde, ampleur, causes et prévention. Division des infrastructures rurales et des agro industries, 44p.
- Fields PG, Korunic Z. 2000a. The effect of grain moisture content and temperature on the efficacy of diatomaceous earths from different geographical locations against stored-product beetles. *J. Stored Prod. Res.*, **36**: 1-13.
- Fields PG, Korunic Z. 2000b. Diatomaceous earth to control *Cryptolestes ferrugineus* (Coleoptera: Cucujidae) in stored barley in farm granaries. *Canadian Entomol.*, **132**: 247-258.

- Glitho IA, Ketoh KG, Nuto PY, Amevoin SK, Huignard I. 2008. Approches non toxiques et non polluantes pour le contrôle des populations d'insectes nuisibles en Afrique du Centre et de l'Ouest; 207-217. In *Biopesticides d'Origine Végétale (2ème édn)*, Regnault- Roger C, Philogène BJR, Vincent C (eds). Lavoisier, TEC & DOC : Paris; 550p.
- Golob P. 1997. Current status and future perspectives for inert dusts for control of stored product insects. *J. Stored Prod. Res.*, **33**: 69–79.
- Goudoum A. 2010. Impact des huiles essentielles sur le potentiel technologique et nutritionnel des grains et farine de maïs au cours du stockage. Thèse de Doctorat, ENSAI, Université de Ngaoundéré, Cameroun, 180 p.
- Guèye MT, Goergen G, Badiane D, Hell K, Lamboni L. 2008a. First report on occurrence of the larger grain borer *Prostephanus truncatus* (Horn) (Coleoptera: Bostrichidae) in Senegal. *J. of African Entomol.*, **16**(2): 309–311.
- Guèye MT, Badiane M, Ndiaye AB, Mbaye I, Diouf M, Ndiaye S. 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. *ITAEchos*, N°3, 12.
- Guèye MT, Seck D, Wathelet JP, Lognay G. 2011. Lutte contre les ravageurs des stocks de céréales et de légumineuses au Sénégal et en Afrique occidentale. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, **15**(1):187-198.
- Guèye MT. 2012. Gestion intégrée des ravageurs de céréales et de légumineuses stockées au Sénégal par l'utilisation de substances issues de plantes. Thèse de doctorat, Université de Liège – Gembloux Agro-Bio Tech, 216 p.
- Guèye MT, Cissokho PS, Goergen G, Ndiaye S, Seck D, Guèye G, Wathelet JP, Lognay G. 2012. Efficacy of powdered maize cobs against the maize weevil *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) in stored maize in Senegal. *Int. J. Trop. Insect Sci.*, **32**: 1-7.
- Guèye MT, Goergen G, Ndiaye S, Asiedu EA, Lognay G, Seck D. 2013a. Efficiency of traditional maize storage and control methods in rural grain granaries: a case study from Senegal. *Tropicultura*, **31**(2): 39-46.
- Gueye MT, Seck D, Diallo A, Trisman D, Fischer C, Barthelemy JP, Wathelet JP, Lognay G. 2013b. Development of a Performant Method for Glucocapparin Determination in *Boscia senegalensis* Lam Ex. Poir.: A Study of the Variability. *Am. J. Anal. Chem.*, **4**: 104-110.
- Hertlein MB, Thompson GD, Subramanyam B, Athanassiou CG. 2011. Spinosad: A new natural product for stored grain protection. *J. Stored Prod. Res.*, **47**(3): 131–146.
- Isman MB. 2006. Botanical insecticides, deterrents, and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated world. *Ann. Rev. Entomol.*, **51**: 45-66.
- Khakame SK, Likhayo P, Olubayo FM, Nderitu JH. 2012. Effect of grain moisture content and storage time on efficacy of inert and botanical dusts for the control of *Sitophilus zeamais* in stored maize. *J. Stored Prod. Postharvest Res.*, **3**(10): 145-151.
- Kljajić P, Andrić G, Adamović M, Pražić Golić M. 2010. Laboratory evaluation of insecticidal effectiveness of a natural zeolite formulation against *Sitophilus oryzae* (L.), *Rhyzopertha dominica* (F.) and *Tribolium castaneum* (Herbst) infested wheat. 10th Int. Working Conf. on Stored Prod. Protection, 863-868.
- Korunic Z. 1998. Diatomaceous earths, a group of natural insecticides. *J. Stored Prod. Res.*, **34**: 87 -97.
- Kouninki H, Haubruge E, Noudjou FE, Lognay G, Malaisse F, Ngassoum MB, Goudoum A, Mapongmetsem PM, Ngamo LS, Hance T. 2005. Potential use of essential oils from Cameroon applied as fumigant or contact insecticides against *Sitophilus*

- zeamais* Motsch. (Coleoptera: Curculionidae). *Commun. Agric. Appl. Biol. Sci.*, **70**(4): 787–792.
- Mahanti V. 2002. Ecology and management of stored grain pests of maize. PhD Thesis, Acharya N. G. Ranga Agric. Univ., Hyderabad, Andhra Pradesh (India).
- M'ella JGM. 2011. Préface In *Insectes Ravageurs des Graines de Légumineuses: Biologie des Bruchinae et Lutte Raisonnée en Afrique*. Huignard J, Glitho IA, Monge J-P, Regnault-Roger C (eds). Collection Update Sciences & Technologies. Eds Quae: France; 145.
- Ngassoum MB, Ngamo TLS, Maponmetsem PM, Jirovertz L, Buchbauer G. 2003. Investigation of medicinal aromatic plants from Cameroon: GC/FID, GC/MS and olfactic analyses of essential oils *Ocimum suave* Willd. (Lamiaceae). *Acta Pharmaceutica Turcica*, **45**: 69-75.
- Nguentchouin MMG, Ngassoum MB, Ngamo L, Cretin M, Gaudu X. 2010. Insecticidal activities of powdered formulation base on essential oil of *Xylopi aethiopica* and kaolinite clay against *Sitophilus zeamais*. *J. of crop Protection*, **29**: 985- 999.
- PAN Africa. 2003. Les pesticides au Sénégal (2ème éd.). PAN Africa ; 56p.
- Pretty J, Hine R. 2005. Pesticide use and the environment in *the pesticide detox Towards a More Sustainable Agriculture*. EARTHSCAN: London, Sterling, VA; 293p.
- Rajendran S, Sriranjini V. 2008. Plant products as fumigants for stored-product insect control. *J. Stored Prod. Res.*, **44**: 126-135.
- Saez A, Fuentes MVH. 2007. Comparison of the desiccation effects of marine and freshwater diatomaceous earths on insects. *J. Stored Prod. Res.*, **43**: 404-409.
- Sanchez-Arroyo H, Lagunes-Tejeda A, Llanderal Cazares C. 1989. Satisfacción de polvos minerales para el combate de *Prostephanus truncatus* (Horn) y *Sitophilus zeamais* Motschulsky, en maiz almacenado. *Agrociencia*, **76**: 47-58.
- Seck D, Lognay G, Haubruge E, wathélet JP, Marlier M, Gaspar C, Severin M. 1993. Biological activity of the shurd *Bosciasenegalensis* (Pers.) Lam. Ex Poir. *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, Faculté des Sciences Agronomiques de Gembloux. 192 p.
- Seck D, Lognay G, Haubruge E, Marlier M, Gaspar C. 1996. «Alternative Protection of Cowpea Seeds against *Callosobruchus maculatus* F. (Coleoptera: Bruchidae) using Hermetic Storage alone or in Combination with *Boscia senegalensis* Pers. Lam. Ex. (Capparaceae) on stored grain insects. *J. Stored Prod. Res.*, **32**: 39-44.
- Srinivasan G. 2008. Efficacy of certain plant oils as seed protectant against pulse beetle, *Callosobruchus chinensis* Linn, on pigeon pea. *Pest. Res. J.*, **20**(1): 13-15.
- Thiam B, Ducommun G. 1993. Protection naturelle des végétaux en Afrique. ENDA, Tiers monde, Dakar. 213p.
- Thiaw C, Sembène M. 2010. Bioactivity of crude extracts and fractions extract of *Calotropis procera* AIT. On *Caryedon serratus* (OL.) insect pest of peanut stocks in Senegal. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **4**(6): 2220-2236.
- Vayias BJ, Athanassiou CG, Kavallieratos NG, Tsesmeli CD, Buchelos CT. 2006. Persistence and efficacy of two diatomaceous earth formulations and a mixture of diatomaceous earth with natural pyrethrum against *Tribolium confusum* Jacquelin du Val (Coleoptera: Tenebrionidae) on wheat and maize. *Pest Man. Sci.*, **62**: 456-464.

ANNEXE 2: Résumé du Poster présenté aux doctoriales ED-SEV 2014

ANNEXE 3 : Fiche technique pour l'obtention du broyat d'épis videset secs de maïs

- Bien sécher les rafles d'épis de maïs pendant au moins deux semaines;
- utiliser un mortier et un pilon, soit à l'aide d'un moulin à écraser pour moudre les rafles; mais vue la dureté de ces dernier, le mortier et le pilon sont plus conseillés;
- Moudre les rafles jusqu'à l'obtention d'une poudre;
- utiliser un tamis pour tamiser la poudre obtenue; les tamis de petits diamètres (0,3 ; 0,2 mm...) sont conseillés car plus le diamètre est fin, plus la poudre est efficace;
- peser une quantité équivalente au poids des grains de maïs à conservés; pour nos expérimentations, 12 g de broyat de diamètre 0,2 mm pour 250g de grains de maïs ont été efficaces dans la conservation (12 g / 250 g) soit 4,8 % P/P;
- mélanger les deux produits et les homogénéiser;
- Conserver soit dans des sacs, soit dans des fûts dans un endroit sec et propre à la température ambiante.



Broyat des rafles d'épis de maïs; en (1) diamètre 0,5 mm et en (2) diamètre 0,2 mm

Papa Seyni CISSOKHO

Résumé: Le maïs et le niébé sont une source de nourriture et de revenus importants pour les populations d'Afrique subsaharienne. Lors du stockage, un large spectre d'insectes occasionne d'énormes pertes. Pour faire face à ce fléau, les solutions efficaces apportées sont essentiellement chimiques. Avec le degré des nuisances associées à l'utilisation des pesticides de synthèse (pollution de l'environnement, intoxications, etc.), la recherche de méthodes alternatives telle que l'utilisation des substances inertes et végétales s'avère indispensable pour garantir la sécurité alimentaire des populations tout en préservant leur santé et l'environnement. Ainsi donc après recherche et caractérisation, sur vingt trois substances inertes recensées dans diverses zones du Sénégal, cinq provenant d'Alou kagne, Diobé 1, Diobé 2, Lac tanma 1 et Lac tanma 2 se sont montrées plus efficaces après des tests d'efficacité sur le maïs et le niébé à la dose témoin de 2 g par substance inerte. L'analyse par fluorescence X a montré qu'il s'agit des substances inertes riches en silice dont le maximum est obtenu avec Diobé 1, soit 75,47 %. L'analyse par diffraction aux rayons X a montré que les substances inertes de Diobé 1 et Diobé 2 sont moins argileux ; il s'agit des sables siliceux. Par contre Alou kagne, Lac Tanma 1 et 2 qui sont constitués de palygorskite dominante sont des attapulgites. Les cinq substances ont été par la suite testées au laboratoire dans la conservation du maïs et du niébé contre les adultes de *Sitophilus zeamais*, *Callosobruchus maculatus*, *Prostephanus truncatus* et *Tribolium castaneum*. Des doses de 1, 2, 3 et 4 g et deux granulométries 0,3 mm et 1 mm ont été retenues pour les cinq substances inertes. Des lots non traités et l'actellic ont servi de témoins et l'expérimentation a duré six mois. Chaque dose est répétée quatre fois. Les résultats ont révélé une grande efficacité des substances inertes à l'égard des quatre insectes ravageurs avec une plus grande efficacité des substances inertes d'Alou kagne. Toutefois, cette efficacité est fonction de la finesse des particules, de la dose appliquée et de l'espèce d'insecte. *C. maculatus* est l'insecte le plus sensible. La dose D5 (4 g) et la granulométrie 0,3 mm ont provoqué respectivement 80 et 67 % de mortalité chez *C. maculatus* en 14 jours et une limitation notoire de la reproduction des adultes ainsi que des dégâts et des pertes en poids en six mois. Les émergences ont évolué inversement à la mortalité et ont augmenté avec l'évolution du temps. Les dégâts et pertes sont fonction de l'insecte ; *P. truncatus* a occasionné respectivement 39 % et 13 % de dégâts et pertes en l'absence de traitement et près de 19 et 6 % aux plus faibles doses. Toutefois avec 1,6 % (p/p) (4 g/ 250 g de substrat), les pertes n'atteignent pas 2 %. Comme substance végétale, le broyat d'épis secs de maïs et leur poudre atomisée ont pu maintenir à des doses supérieures ou égales à 3,2 % (8 g de broyat / 250 g) des émergences, dégâts et pertes aussi faibles que celles notées avec l'actellic à un et trois mois de *S. zeamais*, *P. truncatus* et *T. castaneum*. De façon générale, le broyat d'épis de maïs à la dose 12 g et granulométrie 0,2 mm présente le plus fort pouvoir insecticide. Les substances inertes et le broyat d'épis secs de maïs apparaissent utiles et peuvent constituer une alternative aux pesticides de synthèse dans la conservation des grains de maïs et des graines de niébé contre les attaques des insectes de stocks.

Mots clés : Stocks, Sénégal, substances inertes et végétales, dose, granulométrie, insectes.