

UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR



ECOLE DOCTORALE

SCIENCES DE LA VIE, DE LA SANTE ET DE L'ENVIRONNEMENT

FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES

Année : 2015

N° d'ordre : 175

THESE DE DOCTORAT

Spécialité

ENTOMOLOGIE

Présentée par

Mademoiselle Amy Collé GUEYE

**SENSIBILITE DES DIFFERENTES FORMULATIONS DU MAÏS
(*ZEA MAYS* L.) ET DU MIL (*PENNISETUM GLAUCUM* LEEK) A
L'INFESTATION PAR *SITOPHILUS ORYZAE* (COLEOPTERA,
CURCULIONIDAE), *SITOPHILUS ZEAMAI* (COLEOPTERA,
CURCULIONIDAE) ET *TRIBOLIUM CASTANEUM* (COLEOPTERA,
TENEBRIONIDAE), RAVAGEURS DE CEREALES STOCKEES**

Soutenue le 29 Décembre 2015, devant le jury composé de :

Président : M. Karamoko DIARRA, Professeur titulaire (FST/UCAD)
Rapporteurs : M. Jean Ives CORNUET, Directeur de recherche (IRD/Montpellier)
M. Mbaye DIOP, Maitre de recherche (ISRA/ CNRA/Bambey)
M. Malick FALL, Maitre-Assistant (FST/UCAD)
Examineur : Mme Awa NDIAYE, Chargée de recherche (ISRA/CDH)
Directeur de thèse : M. Mbacké SEMBENE, Professeur titulaire (FST/UCAD)
Co-Directeur de thèse : Dr Cheikh THIAW, Directeur de Recherche (CNRA/Bambey)

THS 2020-0052

DEDICACES



Je dédie cette thèse ..



A la mémoire de mon Père Thierno GUEYE, aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour toi PAPA. Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être. Ce travail est le fruit de tous les sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et ma formation. Le destin ne nous a pas laissé le temps de jouir ce bonheur ensemble et de t'exprimer tout mon respect. Puisse DIEU tout puissant t'accorde sa miséricorde et t'accueille dans son saint paradis.

A ma très chère mère Fatou DIOP affable, honorable : Tu représentes pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement. Tu n'as pas cessé de m'encourager et de prier pour moi. Tes prières et tes bénédictions m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études. Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce que tu mérites pour tous les sacrifices que tu n'as cessé de donner à tes enfants. Tu as fait plus qu'une mère puisse faire pour que ses enfants suivent le bon chemin dans leur vie et leurs études. Je te dédie ce travail en témoignage de mon profond amour. Puisse Dieu, le tout puissant, te préserve et t'accorde santé, longue vie et bonheur.

A mon Tonton Mbacké SEMBENE, vous avez toujours été présent avec vos bons conseils, votre affection et votre soutien m'ont été d'un grand secours toutes ces longues années. Veuillez trouver dans ce modeste travail ma reconnaissance pour tous vos efforts. Je vous souhaite longue vie, bonheur et santé. Du fond du cœur je vous dis merci pour tout.

A mon grand frère Serigne Mbacké GUEYE, tu as toujours été là pour me soutenir et m'aider. Tu fais partie des rares personnes par ta gentillesse, ta tendresse et ton grand cœur, trouvent ici, le témoignage de tout mon attachement et toute ma reconnaissance pour ton infatigable soutien.

REMERCIEMENTS

Avant tout, je tiens à exprimer ma profonde gratitude au dynamique professeur, Mbacké SEMBENE un remerciement particulier et sincère pour tous vos efforts fournis. J'ai eu le privilège de travailler dans votre équipe et d'apprécier vos qualités et vos valeurs. Votre sérieux, vos compétences et votre sens du devoir m'ont énormément marqués. Vous avez bien voulu me confier ce travail riche d'intérêt et me guider à chaque étape de sa réalisation. Vous m'avez toujours réservé le meilleur accueil, malgré vos obligations professionnelles. Vos encouragements infatigables, votre amabilité, votre gentillesse méritent toute admiration. Je saisis cette occasion pour vous témoigner tout mon respect. Avec toute mon estime, Tonton, je vous souhaite santé, bonheur et prospérité.

Un profond respect et un remerciement particulier au Docteur Cheikh THIAW pour sa bonne contribution dans ce travail.

Je souhaite remercier le ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche par le projet FIRST (Fond d'Impulsion pour la Recherche Scientifique et Technique) qui a financé les activités de recherche de cette thèse.

A Monsieur Karamoko DIARRA, professeur Titulaire FST/UCAD, qui m'a fait honneur d'accepter avec une très grande amabilité de présider ce jury de thèse. Veuillez accepter ce travail professeur, en gage de mon grand respect et ma profonde reconnaissance.

A Monsieur Malick FALL permettez-moi de vous exprimer mon admiration pour vos qualités humaines et professionnelles. Veuillez trouver ici l'expression de mon estime et de ma considération.

A Monsieur Jean Ives CORNUET et Monsieur Mbaye DIOP. Je saisis cette occasion pour vous exprimer ma profonde gratitude tout en vous témoignant mes respects.

A Madame Awa NDIAYE. Vous m'avez honoré en acceptant avec grande sympathie de siéger parmi ce jury de thèse. Veuillez trouver ici l'expression de mon grand respect et mes vifs remerciements.

Je tiens à exprimer mes sincères et très vifs remerciements au Docteur Toffène DIOME pour ses conseils judicieux, sa sympathie, sa bonne humeur et tout le soutien qu'il m'a apporté pour la rédaction de cette thèse. Tu es exceptionnel Toff, au fond du cœur, je te dis merci pour tout.

Je remercie tout le personnel de BIOPASS, Monsieur Laurent Granjon, Tonton Mamadou Kane, Tonton Aliou Sow, Tata Nathalie Sarr, Tonton Diallo, Tonton Khalilou Ba, Docteur Khadim Kébé et Docteur Arame Ndiaye, pour votre collaboration, vos conseils et vos bonnes humeurs.

A mes chers collègues et amis, Eugène Tine, Tidiane Dièye, Jean Noël, Pakito, Bamba Diaw, Docteur Fatimata Mbaye, Docteur Ndeye Penda Ndiaye,

Docteur Assane Ndong, Fatou Mbackè Niang, Abdou khadre Mbackè Dia, Amadou Sow, Déthié Ngom, Eliane Asta, Maman Racky, Bayo Ly et Maggie. Je ne peux trouver les mots justes et sincères pour vous exprimer mon affection, vous êtes pour moi des frères, sœurs et des amis sur qui je peux compter. En témoignage de l'amitié qui nous unie et des souvenirs de tous les moments que nous avons passé ensemble, je vous remercie et je vous souhaite tous, une vie pleine de santé, de succès et de bonheur.

Je remercie ma famille de Saint-Louis : Mes frères et sœurs Khadim, Mouhamed, Mame Diarra, Ndéye Magatte et les jumelles Fatima et Khadyja, qui m'ont toujours soutenu et encouragé dans mes études, veuillez trouver dans ce modeste travail l'expression de mon affection la plus sincère. Ma sœur chérie Yacine ainsi que mes neveux Cheikhbi et Mame Bousso, j'espère que vous trouverez ici un exemple à dépasser.

A tous mes oncles, tantes, cousins, cousines, neveux et nièces.

Je remercie ma famille de la Sicap Liberté 4 : Pape Gueye, Diamila, Aïssatou Keita, mes nièces Maman Penda et Ramata, Serigne, Ndéye khady Mbow, Mouka, Awa Diaw, Ndéye Fatou, Ndéye Khady, mère Ndéye Penda et mère Rama Sène. Vous m'avez accueilli à bras ouverts à Dakar, vous avez toujours été présente. Que ce travail soit un témoignage de ma gratitude et mon profond respect.

Je remercie toute la famille Cissé particulièrement, Naby Cissé, mon ange gardien, pour toute son affection, sa gentillesse sans égal, sa présence, son soutien moral, sa patience et sa compréhension. J'implore Dieu pour qu'il t'apporte bonheur et t'aide à réaliser tous tes vœux.

Je tiens aussi à remercier tous mes amies et compagnons de guerre : Rokhaya Ngom, Maridiop, Khady Dramé, Fama Faye, Thiané Seck, ma krazy Rockaya Diallo et sa famille particulièrement Diamy et papis, Anta Sène, Zeyna Lawal, Fatou Yall, Aby Guèye, Oumou Kalsome Diop et Yandé Ba. Vous avez été toujours là pour me soutenir, m'aider et m'écouter. Que Dieu vous protège et vous procure joie et bonheur et que notre amitié reste à jamais.

Mes amis : Kama Diallo, Djiby Mbodj Gaye, Issa Ndiaye, Tidiane Dia, Adama Diop, Khadim Faye, Abo Diagne, Goor, Assane Mar, Khadramé et Cheikhna.

Aux étudiants de la promotion 2010 du Master Biologie Animale.

A tous ceux ou celles qui me sont chers et que j'ai omis involontairement de citer.

A tous mes enseignants tout au long de mes études.

A tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR
Ecole Doctorale : Sciences de la Vie, de la Santé et de l'Environnement
Faculté des Sciences et Techniques
Thèse de doctorat
Spécialité : Entomologie

Nom et prénoms du Candidat : GUEYE Amy Collé

Titre de la thèse : Sensibilité des différentes formulations du maïs (*Zea mays* L.) et du mil (*Pennisetum glaucum* Leek) à l'infestation par *Sitophilus oryzae* (Coleoptera, Curculionidae), *Sitophilus zeamais* (Coleoptera, Curculionidae) et *Tribolium castaneum* (Coleoptera, Tenebrionidae) ravageurs de céréales stockées.

Date et lieu de soutenance : le 29 Décembre 2015 à FST, UCAD

Président : M. Karamoko DIARRA, Professeur titulaire (FST/UCAD)

Rapporteurs : M. Malick FALL, Maitre-Assistant (FST/UCAD)

M. Mbaye DIOP, Maitre de recherches (ISRA/CNRA/Bambey)

M. Jean Ives CORNUET, Directeur de recherche (IRD/Montpellier)

Examineur : Mme Awa NDIAYE, Chargée de recherche (ISRA/CDH)

Directeur de thèse : M. Mbacké SEMBENE, Professeur titulaire (FST/UCAD)

Co-Directeur de thèse: Dr Cheikh THIAW, Directeur de Recherche (ISRA/CNRA/Bambey)

Résumé :

L'agriculture sénégalaise qui est essentiellement pluviale et saisonnière, est caractérisée par un déficit chronique de la production céréalière. Au Sénégal, le mil est l'un des céréales majeures et occupe parmi les cultures céréalières, la place la plus importante aussi bien du point de vue des surfaces emblavées que de la production. Le maïs est une des vingt denrées les plus importantes pour l'alimentation humaine aussi bien en Amérique, d'où il est originaire qu'en Afrique. En effet, il n'est plus à démontrer que la conservation des récoltes permet d'assurer la disponibilité des ressources alimentaires qui est l'un des facteurs clés de la sécurité alimentaire d'un pays. Mais, ces denrées sont habituellement attaquées par certains Coléoptères (*Sitophilus oryzae*, *Sitophilus zeamais*, *Tribolium castaneum*) pendant leur stockage entraînant des pertes qualitatives et quantitatives considérables. Afin de connaître l'impact de la variation du substrat (maïs et mil) de ponte sur la capacité de développement de ces insectes nous avons essayé en premier lieu de faire des infestations contrôlées de *Sitophilus zeamais* (Coleoptera, Curculionidae) provenant du maïs d'une part et de *Sitophilus oryzae* (Coleoptera, Curculionidae) issu du mil d'autre part sur les différentes formulations du maïs (entier, décortiqué, brisé et farine), à une humidité relative variant entre 41-67% et à des températures oscillant entre 28,5-31°C et en second lieu, d'évaluer expérimentalement le développement et les dégâts de *Tribolium castaneum* (Coleoptera, Tenebrionidae) issus du mil d'une part et du maïs d'autre part, sur le mil entier, décortiqué, brisé et farine à une humidité relative variant entre 41-80% et à des températures oscillant entre 24,5-31°C. L'étude de l'effet des différents états du maïs sur les capacités de développement de *Sitophilus zeamais* et *Sitophilus oryzae* a montré que globalement la nature du substrat influe sur le développement et le devenir du poids de *Sitophilus zeamais* et de *Sitophilus oryzae*. Aussi ces deux insectes sont des ravageurs primaires du maïs, capables de se développer sur le maïs entier, le maïs décortiqué et le maïs brisé à l'exception de la farine de maïs. Mais, il faut signaler que *Sitophilus oryzae* issu du mil se développe difficilement sur le maïs entier. Ainsi, pour limiter l'infestation de *Sitophilus oryzae* et *Sitophilus zeamais* sur le maïs il faut le stocker après sa transformation en farine. L'étude du développement de *Tribolium castaneum* sur le mil entier d'abord, puis décortiqué, ensuite brisé et en fin transformé en farine a montré que quel que soit sa provenance (mil ou maïs), *Tribolium castaneum* est capable de se développer sur le mil décortiqué, brisé et sur la farine de mil. Aussi *Tribolium castaneum* issu du maïs pourrait avoir des problèmes d'adaptation dans le mil entier. Ainsi pour limiter l'infestation du mil par *Tribolium castaneum* qui est apparu comme un ravageur primaire du mil, il est préférable de le stocker après décorticage ou après sa transformation en farine. Il ressort de ces études que chaque céréale devrait dans la mesure du possible être spécialement stockée dans des endroits éloignés et il serait nécessaire de veiller au bon état sanitaire de ces céréales avant de les stocker.

Mots clés : *Sitophilus oryzae*, *Sitophilus zeamais*, *Tribolium castaneum*, mil, maïs, pertes, stockage.

Abstract

Senegalese agriculture which is essentially pluvial and seasonal, is characterized by a chronic deficit of the cereal production. In Senegal, millet is one of the major cereal and occupies among cereal crops, the most important place both in terms of sown areas as production. The corn is one of twenty foodstuffs the most important for the human food as well in America, where from it is native that in Africa. Indeed, it is well to demonstrate more that the preservation of the harvests allows to assure the availability of the food resources which is one of the key factors of the food safety of a country. But, these foodstuffs are usually attacked by certain Beetles (*Sitophilus oryzae*, *Sitophilus zeamais*, *Tribolium castaneum*) during their storages entailing considerable qualitative and quantitative losses. To know the impact of the variation of the substratum (corn and millet) egg laying on the capacity of development of these insects, we tried first to do controlled infestations of *Sitophilus zeamais* (Coleoptera, Curculionidae) come from corn the one hand and *Sitophilus oryzae* (Coleoptera, Curculionidae) from millet secondly on the various formulations of corn (whole, hulled, broken and flour) relative humidity ranging from 41-67% and temperatures between 28.5 to 31 ° C and secondly, to experimentally evaluate the development and damage *Tribolium castaneum* (Coleoptera, Tenebrionidae) stemming from millet one hand and corn the other hand, on whole millet, hulled, broken and flour at a relative humidity of between 41-80% and temperatures between 24.5 to 31 ° C. The study of the effect of different states of corn on development capabilities and *Sitophilus oryzae* and *Sitophilus zeamais* showed that overall the nature of the substrate affects the development and fate of the weight of *Sitophilus zeamais* and *Sitophilus oryzae*. Also these two insects are primary pests of corn, able to grow on the whole corn, husked and broken corn, except corn flour. But, it should be noted that *Sitophilus oryzae* from millet is hardly develops on the whole corn. Thus, to contain the infestation of maize weevil and *Sitophilus oryzae* the maïs it must be stored after processing into flour. The study of the development of *Tribolium castaneum* on the whole millet first, then hulled, broken and then processed into flour at the end, showed that, regardless of its origin (millet or corn), *Tribolium castaneum* is able to grow on hulled millet, broken and millet flour. Also *Tribolium castaneum* coming from the corn could have adjustment problems around the millet. Thus to contain the infestation of millet by *Tribolium castaneum* which appeared as a primary pest of millet, it is best stored after the shelling or after processing into flour. It is clear from these studies that each cereal should wherever possible be specially stored in remote locations and it would be necessary to ensure the good health of these cereals before they are stored.

Keywords : *Sitophilus oryzae*, *Sitophilus zeamais*, *Tribolium castaneum*, millet, corn, losses, storage.

LISTE DES ABREVIATIONS

Ca :	Calcium
cm :	Centimètre
Cu :	Cuivre
d :	Densité
Fe :	Fer
g :	Gramme
ha :	Hectare
K :	Potassium
kcal :	Kilocalorie
kJ :	Kilojoule
mg :	Milligramme
Mg :	Magnésium
mm :	Millimètre
Mn :	Manganèse
Na :	Sodium
P :	Phosphore
t :	Tonnes
Zn :	Zinc

LISTE DES ACRONYMES

AFNOR :	Association Française de Normalisation
CILSS :	Comité permanent Inter-états de Lutte contre la Sécheresse dans le Sahel
CIRAD :	Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement
CSA :	Commissariat à la Sécurité Alimentaire
FAO :	Food and Agriculture Organisation
GOANA :	Grande Offensive Agricole pour la Nourriture et l'Abondance
ICRISAT :	Institut International de Recherches sur les Cultures des zones Tropicales Semi-arides
IITA :	International Institute of Tropical Agriculture
ILO-WEP :	International Labour Organisation & Wold Employment Programme
INRA :	Institut National de la Recherche Agronomique
INRAN :	Institut National de la Recherche Agronomique du Niger
ISRA :	Institut Sénégalais de Recherches Agricoles
ITA :	Institut de Technologie Alimentaire
ONU :	Organisation des Nations Unis
ONUDI :	Organisation des Nations Unis pour le Développement Industriel
PAM :	Programme Alimentaire Mondial
USAID :	United States Agency for International Development

LISTE DES SIGLES

ANSD :	Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie
CCG :	Commission Canadienne des Grains
DAPS :	Direction de l'Analyse, des Prévisions et des Statistiques
DSRP :	Division des Stratégies de Réduction de la Pauvreté
LOASP :	Loi d'Orientation Agro-Sylvo-Pastorale
MAE :	Ministère de l'agriculture et de l'élevage
MAS :	Ministère de l'Agriculture du Sénégal
MIA :	Ministère de l'Industrie et de l'Artisanat

LISTE DES FIGURES

Figure 1 :	Champs de maïs.....	6
Figure 2 :	Épis de maïs suspendus au-dessus d'un hangar.....	13
Figure 3 :	Épis de maïs accrochés au-dessus d'un foyer.....	14
Figure 4 :	Grains de maïs infestés par <i>Sitophilus zeamais</i>	15
Figure 5 :	Champ de mil du Sénégal oriental.....	16
Figure 6 :	Grenier traditionnel en Nguer au Sine Saloum.....	24
Figure 7 :	Magasin de stockage.....	25
Figure 8 :	Grenier collectif en chaume.....	25
Figure 9 :	Bountoung.....	26
Figure 10 :	Cycle de développement de <i>Sitophilus oryzae</i> Linn.....	33
Figure 11 :	<i>Sitophilus zeamais</i>	36
Figure 12 :	<i>Sitophilus zeamais</i> adultes sortant des grains de maïs.....	36
Figure 13 :	Œuf, Larve et nymphe de <i>Sitophilus zeamais</i>	38
Figure 14 :	Cycle de développement de <i>Sitophilus zeamais</i> (1 : Œuf ; 2 : Larve ; 3 : Nymphe ; 4 : Trou de sorti de L'adulte ; 5 : Adulte de <i>Sitophilus zeamais</i> ; Maïs infesté par <i>Sitophilus zeamais</i>).....	39
Figure 15 :	<i>Tribolium castaneum</i>	42
Figure 16 :	Œuf (A), Larve (B), Nymphe(C) et Adulte (D) de <i>T. castaneum</i>	45
Figure 17 :	Elevage de masse de <i>Sitophilus zeamais</i>	51
Figure 18 :	Boite de Pétri contenant du maïs entier à infester.....	52
Figure 19 :	Boîtes de Maïs entier et de farine de Maïs infestées par <i>Sitophilus zeamais</i> ...54	
Figure 20 :	Balance de pesage des insectes.....	55

Figure 21 : Cinétique d’émergence des adultes de *Sitophilus zeamais* sur les quatre états du maïs en fonction des jours.....57

Figure 22 : Cinétique d’émergence des adultes de *Sitophilus oryzae* sur les quatre états du maïs en fonction des jours.....64

Figure 23 : Durées moyennes de développement de *S. zeamais* et de *S. oryzae* en fonction de la nature du substrat.....69

Figure 24 : Poids moyen de *S. zeamais* et de *S. oryzae* en fonction de la nature du substrat.....71

Figure 25 : Elevage de masse de *T. castaneum*.....84

Figure 26 : Dispositif expérimental.....85

Figure 27 : Mil Entier infesté par *T. castaneum*.....86

Figure 28 : Cinétique d’apparition des larves de *T. castaneum* provenant du mil sur le mil dans ces quatre états en fonction des jours.....88

Figure 29 : Cinétique d’apparition des larves de *T. castaneum* provenant du maïs sur le mil dans ces quatre états en fonction des jours.....94

Figure 30 : Durées moyennes ponte-nymphes de *T. castaneum* en fonction de sa provenance et de la nature du substrat.....100

Figure 31 : Durées moyennes nymphes-adulte de *T. castaneum* en fonction de sa provenance et de la nature du substrat.....101

Figure 32 : Durées moyennes de développement de *T. castaneum* en fonction de sa provenance et de la nature du substrat.....103

Figure 33 : Poids moyen de *T. castaneum* en fonction de sa provenance et de la nature du substrat.....106

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Morphologies et Caractéristiques des différents substrats du maïs.....	53
Tableau 2 : Paramètres biodémographiques de <i>Sitophilus zeamais</i> sur les quatre substrats du maïs à 28,5-31°C et 41-67% H.R.....	59
Tableau 3 : Analyse des différences entre les groupes avec un intervalle de confiance à 95 %.....	60
Tableau 4 : Comparaison des durées moyennes de développement de <i>Sitophilus zeamais</i> sur les différents supports alimentaires.....	60
Tableau 5 : Analyse des différences entre les groupes avec un intervalle de confiance à 95 %.....	61
Tableau 6 : Comparaison des poids moyens de <i>Sitophilus zeamais</i> sur les différents supports alimentaires.....	62
Tableau 7 : Emergence des adultes et sex-ratio (R) de <i>Sitophilus zeamais</i> sur les différents supports alimentaires.....	62
Tableau 8 : Paramètres biodémographiques de <i>Sitophilus oryzae</i> sur les quatre substrats du maïs à 28,5-31°C et 41-67% H.R.....	65
Tableau 9 : Analyse des différences entre les groupes avec un intervalle de confiance à 95 %.....	65
Tableau 10 : Comparaison des durées moyennes de développement de <i>Sitophilus oryzae</i> sur les différents supports alimentaires.....	66
Tableau 11 : Analyse des différences entre les groupes avec un intervalle de confiance à 95 %.....	67
Tableau 12 : Comparaison des poids moyens de <i>Sitophilus oryzae</i> sur les différents supports alimentaires.....	67
Tableau 13 : Emergence des adultes et sex-ratio (R) de <i>Sitophilus oryzae</i> sur les différents supports alimentaires.....	68

Tableau 14 : Comparaison des durées moyennes de développement de *S. zeamais* et *S. oryzae* sur les différents supports alimentaires.....69

Tableau 15 : Comparaison des nombres d’adultes de *Sitophilus* en fonction de leurs provenances et de la nature du substrat.....70

Tableau 16 : Comparaison des poids moyens des *Sitophilus* en fonction de leurs provenances sur les différents supports alimentaires.....71

Tableau 17 : Comparaison du Sex-ratio des *Sitophilus* en fonction de leurs provenances et de la nature du substrat.....72

Tableau 18 : Morphologies et Caractéristiques des différents substrats du mil.....83

Tableau 19 : Paramètres biodémographiques de *T. castaneum* provenant du Mil à 24,5-31°C et à 41-80% H.R.....89

Tableau 20 : Comparaison des durées moyennes ponte-nymphes de *T. castaneum* provenant du mil sur les différents supports alimentaires.....90

Tableau 21 : Comparaison des durées moyennes nymphe-adulte de *T. castaneum* provenant du mil sur les différents supports alimentaires.....91

Tableau 22 : Comparaison des durées moyennes de développement de *T. castaneum* provenant du mil sur les différents supports alimentaires.....91

Tableau 23 : Comparaison des poids moyens de *T. castaneum* provenant du mil sur les différents supports alimentaires.....93

Tableau 24 : Paramètres biodémographiques de *T. castaneum* provenant du maïs sur les quatre états du mil à 24,5-31°C et à 41-80% H.R.....95

Tableau 25 : Comparaison des durées moyennes ponte-nymphes de *T. castaneum* provenant du maïs sur les différents supports alimentaires.....96

Tableau 26 : Comparaison des durées moyennes nymphe-adulte de *T. castaneum* provenant du maïs sur les différents supports alimentaires.....96

Tableau 27 : Comparaison des durées moyennes de développement de *T. castaneum* provenant du maïs sur les différents supports alimentaires.....97

Tableau 28 : Comparaison des poids moyens de *T. castaneum* provenant du maïs sur les différents supports alimentaires.....98

Tableau 29 : Comparaison des durées moyennes ponte-nymphes de *T. castaneum* en fonction de la provenance sur les différents supports alimentaires.....100

Tableau 30 : Comparaison des durées moyennes nymphe-adultes de *T. castaneum* en fonction de la provenance sur les différents supports alimentaires.....102

Tableau 31 : Comparaison des durées moyennes de développement de *T. castaneum* en fonction de la provenance sur les différents supports alimentaires.....104

Tableau 32 : Comparaison des nombres de larves, d’adultes et du taux de fertilité biaisé de *T. castaneum* en fonction de sa provenance et de la nature du substrat.....105

Tableau 33 : Comparaison des poids moyens de *T. castaneum* en fonction de la provenance sur les différents supports alimentaires.....107

Tableau 34 : Comparaison du Sex-ratio de *T. castaneum* en fonction de la provenance et de la nature du substrat.....108

Sommaire

II.1.4 Analyses statistiques.....	566
II.2 RESULTATS ET DISCUSSION.....	577
II.2.1 Résultats.....	577
II.2.1.1 Paramètres biodémographiques de <i>S. zeamais</i> sur les quatre substrats	577
II.2.1.1.1 Cinétique d'éclosion des adultes.....	577
II.2.1.1.2 Durée moyenne de développement.....	59
II.2.1.1.3 Nombre d'adultes.....	611
II.2.1.1.4 Poids moyen des adultes	611
II.2.1.1.5 Sex-ratio	622
II.2.1.2 Paramètres biodémographiques de <i>S. oryzae</i> sur les quatre substrats du maïs ..	633
II.2.1.2.1 Cinétique d'éclosion des adultes.....	633
II.2.1.2.2 Durée moyenne de développement.....	644
II.2.1.2.3 Nombre d'adultes.....	666
II.2.1.2.4 Poids moyen des adultes	666
II.2.1.2.5 Sex-ratio	Erreur ! Signet non défini.8
II.2.1.3 Comparaison des paramètres biodémographiques selon l'origine de <i>Sitophilus</i> . 68	
II.2.1.3.1 Durée moyenne de développement.....	68
II.2.1.3.2 Nombre d'adultes.....	Erreur ! Signet non défini.0
II.2.1.3.3 Poids moyen des adultes	700
II.2.1.3.4 Sex-ratio	722
II.2.2 Discussion.....	733
CONCLUSION.....	78

Chapitre III : Evolution des paramètres biodémographiques de *Tribolium castaneum* H. (Coleoptera, Tenebrionidae) provenant du mil (*Pennisetum glaucum* Leek) et du maïs (*Zea mays* L.) sur les différents substrats du mil

INTRODUCTION	80
III.1 MATERIEL ET METHODES.....	833
III.1.1 Préparation des substrats	833
III.1.2 Elevage de masse et choix des couples	844
III.1.3 Développement de <i>T. castaneum</i> sur les quatre substrats	844
III.1.4 Analyses statistiques	877

TITRE**N° DE PAGE**

DEDICACES.....	I
REMERCIEMENTS.....	II
RESUME.....	IV
ABSTRACT.....	V
LISTE DES ABREVIATIONS.....	VI
LISTE DES ACRONYMES.....	VII
LISTE DES SIGLES.....	VIII
LISTE DES FIGURES.....	IX
LISTE DES TABLEAUX.....	XI
INTRODUCTION GENERALE.....	1

Chapitre I : Présentation des deux plantes hôtes, le Maïs (*Zea mays* L.), le Mil (*Pennisetum glaucum* Leek), et des ravageurs *Sitophilus oryzae* L. (Coleoptera, Curculionidae), *Sitophilus zeamais* M. (Coleoptera, Curculionidae) et *Tribolium castaneum* H. (Coleoptera, Tenebrionidae)

I.1 LE MAÏS.....	6
I.1.1 Origine et Taxonomie	6
I.1.2 Morphologie et Biologie	7
I.1.3 Distribution et Variétés	7
I.1.4 Importance économique.....	8
I.1.5 Pratiques culturales et utilisation du maïs.....	9
I.1.6 Contraintes liées à la culture du maïs	111
I.1.7 Les méthodes de stockage.....	122
I.1.8 Les pertes causées par les insectes.....	144
I.2 LE MIL.....	Erreur ! Signet non défini.6
I.2.1 Origine et taxonomie.....	177
I.2.2 Morphologie et Biologie	177
I.2.3 Distribution et Variétés	18
I.2.4 Importance économique.....	19

I.2.5 Pratiques culturales et utilisation du mil.....	20
I.2.7 Méthodes de stockage.....	233
I.2.8 Contraintes liées à la culture du mil.....	277
I.3 LE RAVAGEUR <i>SITOPHILUS ORYZAE</i>	29
I.3.1 Position systématique.....	29
I.3.2 Description morphologique	300
I.3.3 Ecologie et Distribution géographique	300
I.3.4 Biologie de la reproduction.....	311
I.3.5 Importance économique et Dégâts.....	333
I.4 LE RAVAGEUR <i>SITOPHILUS ZEAMAI</i>	355
I.4.1 Position systématique.....	355
I.4.2 Description morphologique	366
I.4.3 Ecologie et Distribution géographique	377
I.4.4 Biologie de la reproduction.....	377
I.4.5 Importance économique et Dégâts.....	400
I.5 LE RAVAGEUR <i>TRIBOLIUM CASTANEUM</i>	411
I.5.1 Position systématique.....	411
I.5.2 Description morphologique	422
I.5.3 Origine et distribution géographique	433
I.5.4 Biologie de la reproduction.....	433
I.5.5 Dégâts et importance économique	466

Chapitre II : Etude des paramètres biodémographiques de *Sitophilus oryzae* L. (Coleoptera Curculionidae) issus du Mil et de *Sitophilus zeamais* M. (Coleoptera Curculionidae) provenant du Maïs dans le Maïs Entier, Décortiqué, Brisé et Farine

INTRODUCTION	48
II.1 MATERIEL ET METHODES	511
II.1.1 Elevage de masse et choix des couples	511
II.1.2 Préparation des substrats	522
II.1.3 Développement de <i>Sitophilus</i> sur les quatre substrats du maïs	544

III.2 RESULTATS ET DISCUSSION	88
III.2.1 Résultats	88
III.2.1.1 Paramètres biodémographiques de <i>T. castaneum</i> provenant du mil sur les quatre substrats	88
III.2.1.1.1 Cinétique d'apparition des larves	88
III.2.1.1.2 Durée moyenne ponte-nymphé.....	89
III.2.1.1.3 Durée moyenne nymphe-Adulte.....	900
III.2.1.1.4 Durée moyenne de développement.....	911
III.2.1.1.5 Nombre de larves, d'adultes et taux de fertilité biaisé.....	922
III.2.1.1.6 Poids moyen des adultes.....	922
III.2.1.1.6 Sex-ratio.....	933
III.2.1.2 Paramètres biodémographiques de <i>T. castaneum</i> provenant du maïs sur les quatre substrats	933
III.2.1.2.1 Cinétique d'apparition des larves	933
III.2.1.2.2 Durée moyenne ponte-nymphé.....	944
III.2.1.2.3 Durée moyenne nymphe-adulte.....	966
III.2.1.2.4 Durée moyenne de développement.....	977
III.2.1.2.5 Nombre de larves, d'adultes et taux de fertilité biaisé.....	98
III.2.1.2.6 Poids moyen des adultes.....	98
III.2.1.2.7 Sex-ratio.....	99
III.2.1.3 Comparaison des paramètres biodémographiques selon les substrats et l'origine de <i>T. castaneum</i>	99
III.2.1.3.1 Durée moyenne ponte-nymphé.....	99
III.2.1.3.2 Durée moyenne nymphe-adulte.....	1011
III.2.1.3.3 Durée moyenne de développement.....	1022
III.2.1.3.4 Nombre de larves, d'adultes et taux de fertilité biaisé.....	1044
III.2.1.3.5 Poids moyen des adultes	1066
III.2.1.3.6 Sex-ratio.....	1077
III.2.2 Discussion	10909
CONCLUSION.....	11515
CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS.....	116
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	120
Annexe I. Fiche de Collecte des insectes.....	A

Annexe II. Fiche de Comptage et de Pesage des insectesB

Annexe III. *Sitophilus zeamais* provenant du maïs et élevé sur le maïs entierC

Annexe IV. *Sitophilus zeamais* provenant du maïs et élevé sur le maïs décortiquéD

Annexe V. *Sitophilus zeamais* provenant du maïs et élevé sur le maïs briséE

Annexe VI. *Sitophilus zeamais* provenant du maïs et élevé sur la farine de maïsF

Annexe VII. *Sitophilus oryzae* provenant du mil et élevé sur du maïs entierG

Annexe VIII. *Sitophilus oryzae* provenant du mil et élevé sur du maïs décortiqué.....H

Annexe IX. *Sitophilus oryzae* provenant du mil et élevé sur du maïs brisé.....I

Annexe X. *Sitophilus oryzae* provenant du mil et élevé sur de la farine de maïs.....J

Annexe XI. Tableaux récapitulatifsK

Annexe XII. *Tribolium castaneum* provenant du mil sur mil entier.....L

Annexe XIII. *Tribolium castaneum* provenant du mil sur mil décortiqué.....M

Annexe XIV. *Tribolium castaneum* provenant du mil sur mil brisé.....N

Annexe XV. *Tribolium castaneum* provenant du mil sur la farine de mil.....O

Annexe XVI. *Tribolium castaneum* provenant du maïs sur mil entier.....P

Annexe XVII. *Tribolium castaneum* provenant du maïs sur mil décortiqué.....Q

Annexe XVIII. *Tribolium castaneum* provenant du maïs sur mil brisé.....R

Annexe XIX. *Tribolium castaneum* provenant du maïs sur la farine de mil.....S

Annexe XX. Tableaux récapitulatifs.....T

Annexe XXI. PUBLICATION I.....U

Annexe XXII. PUBLICATION II.....V

Annexe XXIII. PUBLICATION IIIW

INTRODUCTION GENERALE

Les céréales, en particulier le maïs (*Zea mays* L.) et le mil (*Pennisetum glaucum* Leek), constituent les aliments de base des populations en Afrique de l'Ouest et en zone sahélienne (Neethirajan *et al.*, 2007). Elles représentent plus de 50% de la consommation alimentaire des pays en voie de développement (FAO, 2007) et jouent un rôle alimentaire considérable en raison de leur forte valeur énergétique : 330 à 385 kcal/100g (Favier, 1989). Toutefois, malgré l'importance de ces céréales, leur production reste saisonnière.

Le Sénégal est un pays sahélien où l'agriculture occupe près de 80% de la population et constitue l'une des principales activités de production. Cette agriculture repose à la fois sur des cultures de rente (arachide, coton), sur des cultures vivrières de subsistance (mil, sorgho, maïs) et sur la culture du riz (ISRA, 2008). Le Sénégal est un pays structurellement déficitaire en céréales. Pourtant, les cultures céréalières occupent plus de 85% des surfaces cultivées avec trois spéculations majeures : mil, maïs et le sorgho qui sont pratiquées sur environ 78% des surfaces et fournissent près de 77% de la production céréalière pluviale (ANSD, 2010). En effet, l'agriculture Sénégalaise, essentiellement pluviale, est sujette aux fluctuations de la pluviométrie qui ont un fort impact sur le niveau des rendements des différentes cultures. Le taux de couverture des besoins céréaliers a oscillé entre 35,5 et 67,2% lors des cinq dernières campagnes agricoles (C.S.A et PAM, 2012). En effet, les autorités du Sénégal ont essayé, depuis l'indépendance, d'accroître aussi bien les cultures vivrières que les cultures de rente afin de limiter le recours à l'extérieur et d'atteindre l'autosuffisance alimentaire. Aussi, les instituts de recherche et les projets de développement se sont attachés à augmenter la production agricole en intervenant principalement sur la sélection variétale et la maîtrise du cycle végétatif des plantes cultivées. Seulement, malgré ces initiatives prises de part et d'autre pour augmenter la production, le contexte d'insécurité alimentaire est toujours marqué par des pertes post-récoltes non négligeables (Guèye *et al.*, 2011). Les pertes interviennent à tous les stades, de la récolte à la consommation : d'abord chez le producteur, qu'il s'agisse de produits destinés à l'autoconsommation, à la semence ou en attente d'être commercialisés ; puis pendant le transport vers les lieux de stockage et au cours du stockage ; enfin dans les réserves des commerçants (Sembene, 2000).

Entre la récolte et la consommation, plus de 30% de la production est perdue. Cette proportion est plus forte en région sahélienne du fait de la longue période de stockage (Ngamo et Hance, 2007). En effet, le stockage est strictement obligatoire, seul moyen depuis l'aube de l'agriculture d'assurer le lien entre la récolte intervenant une fois dans l'année en zone

sahélienne sèche, et la consommation qui reste permanente. Ces besoins en stockage augmentent aujourd'hui et continueront à progresser en rapport avec le développement rapide de la population dans la plupart des pays, en particulier ceux en développement (Delobel et Tran, 1993). Mais, selon certains auteurs comme Kouassi (1991), le stockage pose un problème auquel une attention toute particulière doit être accordée si l'on veut limiter les dégâts causés par les déprédateurs des denrées après la récolte. En effet, ces récoltes, conservées en général dans des conditions inadéquates, sont attaquées par des insectes, des rongeurs et des moisissures. La cause majeure des pertes dans les stocks est attribuée aux insectes (44%) (Foua-bi, 1989 ; Genest *et al.*, 1990). Devant la gravité des pertes post-récoltes dues aux insectes, Labeyrie (1992), disait qu'en Afrique, le paysan travaille pour les insectes. En effet, Pour rester en vie, les insectes ont besoin de nourriture, d'air et d'eau. Les céréales stockées fournissent très souvent un endroit idéal pour le séjour et le développement des insectes car la nourriture, l'air et l'eau s'y trouvent en quantités suffisantes. C'est pourquoi certaines espèces d'insectes infestent les céréales stockées (Inge de Groot, 2004). De très nombreuses espèces d'insectes s'attaquent aux denrées stockées, certaines sont spécifiques au stock alors que d'autres peuvent infester les produits depuis le champ (ILO-WEP, 1986). En effet, ces insectes ravageurs des stocks de céréales sont nombreux et causent ainsi des pertes quantitatives et qualitatives très importantes (Bounechada, 2011).

Les données disponibles montrent qu'il s'agit surtout des coléoptères (*Sitophilus spp*, *Rhizopertha spp*, *Prostephanus truncatus*, *Trogoderma granarium* et *Tribolium*) et des lépidoptères (*Sitotroga cerealella*, *Ephestia cautella* et *Plodia interpunctella*) (Delobel et Tran, 1993 ; Traore *et al.*, 1996). Dans les stocks, les insectes peuvent entraîner des dégâts très importants en consommant l'albumen et parfois le germe des grains (c'est en fait, dans bien des cas, la larve vivant à l'intérieur du grain qui occasionne les pertes), en dépréciant les produits par leurs déchets déjections ou sécrétions, en détériorant les sacs (Appert, 1985). Ainsi, ces dégâts incluent la perte de poids et une diminution de la qualité des grains (Rajendran, 2002) et quelque fois une perte du pouvoir germinatif (Dabiré *et al.*, 2008). En plus, par les déchets qu'ils produisent dans les grains (farines), l'échauffement et le dégagement de vapeur d'eau qu'ils occasionnent par leur respiration, les insectes tendent à créer un milieu favorable au développement des micro-organismes produisant des toxines (Cruz *et al.*, 1988). C'est le cas des champignons aflatoxinogènes du genre *Aspergillus*.

Les principales espèces nuisibles rencontrées sur le maïs stocké sous forme d'épis avec spathes ou de grains en vrac sont *Prostephanus truncatus* Horn, 1878 (Coleoptera, Bostrychidae) et *Sitophilus zeamais* Motschulsky, 1855 (Coleoptera, Curculionidae). Les pertes pondérales sont estimées entre 15 à 35% des récoltes après six à huit mois de stockage (Danho *et al.*, 2000). Dans les pays comme la Côte d'Ivoire et le Bénin, le pourcentage de grains attaqués par le charançon du maïs *Sitophilus zeamais* après cinq mois de stockage est en moyenne de 35% et la perte pondérale de 3,8%. Le *Sitophilus zeamais* (Motschulsky) (Coleoptera : Curculionidae), dont les populations sont étroitement dépendantes de la température et de la teneur en eau du grain, peut à lui seul engendrer 50% de dégâts en 5 mois de stockage (Moyal, 1992). En effet, le *Sitophilus zeamais* est universellement reconnu comme l'un des plus dévastateurs de maïs entreposé non seulement en raison de sa propre consommation mais aussi parce qu'il ouvre la porte à tout un ensemble de détritivores dont le plus fréquent est le Tribolium rouge de la farine (*Tribolium castaneum* Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae) qui parachève les dégâts (Throne, 1994 ; Dabre, 2008 ; Camara, 2009). En effet, considéré pendant longtemps comme un ravageur secondaire (Haubruge *et al.*, 1997 ; Seck *et al.*, 1992) *T. castaneum* est, parmi les insectes des stocks, le plus ubiquiste, le plus polyphage et le plus redoutable. Les adultes et les larves ne s'implantent généralement dans les grains qu'après les attaques de ravageurs primaires tel que *Sitophilus oryzae*, qui préfère les grains de petite taille comme le riz (Camara, 2009), ou lorsque les grains sont brisés (Seck *et al.*, 1992). Les souillures de *T. castaneum* corrompent de très nombreuses denrées amylacées notamment les farines de céréales (Bonneton, 2010). Karunakaran *et al.* (2004), rapportent que l'infestation causée par *T. castaneum* dans le blé stocké et non protégé réduit la germination presque complètement de 9% à 39% après 9 mois de stockage au Canada et les grains présentent des noyaux visiblement endommagés. *Tribolium castaneum* manifeste une préférence pour l'embryon des grains de céréales (Ndiaye, 1999 ; Bounechada, 2011).

Pour remédier à l'action déprédatrice de *Sitophilus oryzae*, *Sitophilus zeamais* et *Tribolium castaneum* plusieurs méthodes de lutte sont utilisées par le paysan. Il s'agit entre autres des procédés mécaniques et physiques, des pratiques culturales, des traitements des denrées avec des insecticides de contact et de l'addition au grain de substances étrangères (matières minérales, substances végétales). Mais compte tenu des nuisances associées à l'utilisation des pesticides, la sélection de souches résistantes, la pollution de l'environnement et les intoxications, une recherche d'alternatives s'impose (Gueye *et al.*, 2011). Ainsi, des

efforts importants ont été déployés en vue de mettre au point des méthodes alternatives de lutte contre ces insectes dans le respect de l'environnement.

En effet, la meilleure protection des denrées stockées implique une lutte efficace contre les ravageurs, ce qui impose l'application de méthodes de protection plus douces, respectueuses de la santé humaine et de l'environnement. (Ngamo et Hance, 2007). Ces méthodes doivent être conçues en tenant compte des données obtenues à la suite d'études menées (au Laboratoire) sur la biologie, l'écologie et l'éthologie de l'espèce à combattre. L'importance relative de ces insectes (*Sitophilus oryzae*, *Sitophilus zeamais* et *Tribolium castaneum*) ainsi que leur impact sur les stocks de maïs et de mil, nous ont amené à les choisir. Cependant, de nombreuses études déjà réalisées à travers le monde sur la biologie et sur le comportement de ces insectes de stocks, fournissent d'importantes informations relatives, notamment, au cycle de développement et à l'importance de la descendance. Ces études ont été menées en fonction d'un certain nombre de facteurs tels que les différentes sources alimentaires (Seck *et al.*, 1992 ; Guèye *et al.*, 2012), la température (Kafka, 2009 ; Camara, 2009), la lumière et l'humidité relative du milieu ambiant (Kouassi, 1991). Toutefois, peu de données récentes dans la littérature décrivent l'impact des variations du substrat (maïs ou mil entier, décortiqué, brisé et farine) sur les caractères biodémographiques (la durée ponte-nymph, la durée-nymph adulte, le nombre de larves, le nombre d'adultes, le poids, le sex-ratio des descendants, la durée de développement, *etc.*) de ces insectes à la température et à l'humidité relative ambiante. Pour rappel, la biodémographie désigne la distribution des événements majeurs qui jalonnent la vie d'un individu. Les caractères biodémographiques influencent directement la reproduction et la survie et par conséquent affectent la vigueur biologique (Daan et Tinbergen, 1997 ; Stearns, 1992). Ainsi, nous allons essayer de voir es-ce-que la variation du substrat (maïs ou mil entier, décortiqué, brisé et farine) de ponte influe sur le cycle développement, le devenir du poids et le sex-ratio de la descendance ? Afin de connaître quel est le meilleur état de conservation de ces céréales (maïs et mil) qui permettrait de limiter les attaques des insectes (*Sitophilus oryzae*, *Sitophilus zeamais* et *Tribolium castaneum*).

Ainsi, l'objectif général du travail est de contribuer à la sécurité alimentaire et à la réduction de la pauvreté des populations du Sénégal grâce à une stratégie de gestion intégrée des insectes ravageurs des stocks de céréales (mil, maïs) dans le respect de l'environnement. Spécifiquement, il s'agira d'abord, de faire des infestations contrôlées de *Sitophilus zeamais*

provenant du maïs et de *Sitophilus oryzae* issus du mil, sur le maïs dans ses différentes formulations (entier, décortiqué, brisé et farine) et faire des comparaisons des paramètres biodémographiques. Ensuite, déterminer l'effet de l'état du mil (entier, décortiqué, brisé et farine) sur les capacités de développement de *Tribolium castaneum* provenant du mil d'une part et du maïs d'autre part, à la température et à l'humidité relative ambiante. Enfin établir les rapports entre les paramètres biodémographiques évalués.

Notre travail comporte trois chapitres :

- Dans le premier chapitre, nous présenterons les deux plantes hôtes, le maïs (*Zea mays* L.), le mil (*Pennisetum glaucum* Leek.) et les ravageurs *Sitophilus oryzae* L. (Coleoptera, Curculionidae), *Sitophilus zeamais* M. (Coleoptera, Curculionidae) et *Tribolium castaneum* H. (Coleoptera, Tenebrionidae).
- Le deuxième chapitre consistera à suivre l'évolution de *Sitophilus zeamais* provenant du maïs et de *Sitophilus oryzae* issus du mil, sur le maïs dans ses différents états (entier, décortiqué, brisé et farine).
- Dans le troisième chapitre, nous allons évaluer expérimentalement le développement et les dégâts de *T. castaneum* issus du mil d'une part et du maïs d'autre part, sur le mil entier, décortiqué, brisé et farine.

Nous terminerons ce travail par une conclusion générale et des recommandations.

Chapitre I : Présentation des deux plantes hôtes, le Maïs (*Zea mays* L.), le Mil (*Pennisetum glaucum* Leek), et des ravageurs *Sitophilus oryzae* L. (Coleoptera, Curculionidae), *Sitophilus zeamais* M. (Coleoptera, Curculionidae) et *Tribolium castaneum* H. (Coleoptera, Tenebrionidae)

I.1 LE MAÏS

Le maïs (*Zea mays* L.) est une plante annuelle monoïque de grande taille (figure 1). *Zea* est un genre appartenant à la famille des graminées (Poacées), et leurs cellules ont $2n$ chromosomes. En 2011, selon les statistiques de la Direction de l'Analyse de la Prévention et des Statistiques (DAPS), la superficie de la culture du maïs au Sénégal est de 121,235 hectares avec une production annuelle d'environ 186,511 tonnes.



Figure 1 : Champs de maïs

Source : http://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:Grains_mais.jpg

I.1.1 Origine et Taxonomie

Le maïs serait originaire d'Amérique centrale (Mexique) et du Sud (FAO, 1993). Il fut importé par les espagnols et les portugais dès leur conquête de ce nouveau continent en 1492. Ainsi, c'est après la seconde guerre mondiale que le maïs a conquis la France entière. Les variétés à grains très farineuses ont été introduites en Afrique Occidentale par les Portugais au début du XVI^e siècle (Devautour et Nago, 1989). Aujourd'hui, le maïs est très cultivé dans tous les continents et constitue l'alimentation de base d'une importante proportion de l'humanité.

Selon Saint-Clair (1989), le maïs répond à la position systématique suivante :

Famille : Gramineae

Sous-famille : Panicoidae

Genre : *Zea*

Espèce : *Zea mays* L.

I.1.2 Morphologie et Biologie

Le maïs est une céréale herbacée annuelle, à tallage généralement faible ou même nulle. Il présente une large diversité morphologique selon les variétés. La plante possède des racines définitives ou coronaires et des racines séminales, fonctionnelles jusqu'au stade cinq ou six feuilles. La tige, constituée de l'écorce et de la moelle, mesure de 0,6 à 6 mètre. C'est un empilement de nœuds et d'entre-nœuds. Au niveau de chaque nœud, on trouve une feuille (le nombre varie de huit à quarante-huit) et un bourgeon axillaire. Les bourgeons de la base de la tige peuvent donner des talles, ceux du milieu un ou plusieurs épis et le bourgeon terminal la panicule. Le maïs est donc une plante monoïque à inflorescences séparées. L'épi est une tige miniature avec des spathes et une inflorescence terminale (l'épi proprement dit) formée d'un axe central, la rafle qui porte les grains. Le grain est un caryopse de couleur blanche ou jaune, mais on en trouve également de noir, de rouge et de mélangé. Le péricarpe, l'embryon et l'albumen sont riches en amidon (Kling, 1991 ; Chanterau *et al.*, 2002). Le maïs est mûr quand le grain est à environ 30 - 32% d'humidité.

I.1.3 Distribution et Variétés

Le maïs (*Zea mays* L.) est cultivé au Sénégal, principalement pour son grain, dans quatre zones : le Sénégal-Oriental, le Sine-Saloum, la Casamance et la vallée du fleuve Sénégal. Le développement de sa culture dans chacune de ces régions est lié soit au fait que le maïs y est une culture ancienne dont le produit figure traditionnellement dans l'alimentation, soit au fait que le maïs permet de traverser les périodes de soudure (ISRA, ITA et CIRAD, 2005). En 2011, les statistiques du ministère de l'agriculture montraient que les superficies et la production se répartissaient assez équitablement entre les trois principales régions de culture pluviale : Sénégal- Oriental (24,874 ha / 32,637 t), Sine-Saloum (20,358 ha / 38,788 t)

et Casamance (18,988 ha / 31,627 t). La région du fleuve, qui est une zone de culture irriguée, ne dépasse pas 10 % du total national. La production a évolué en dents de scie ces dernières années avec toutefois une augmentation en 2009/2010 (328,644 t) et une baisse considérable en 2010/2011 (186,511 t).

Les nombreuses variétés de maïs cultivées présentent des caractéristiques très diverses. Certaines mûrissent en deux mois, et d'autres onze mois pour arriver à maturation. Ainsi, six grands groupes de variétés sont différenciés par les caractéristiques du grain.

- Le maïs denté (*indentata*) est le principal type de maïs cultivé aux États-Unis.
- Il y a le maïs vitreux (*semoules*).
- Les variétés de maïs cornés sont préférées dans les climats frais en raison de leur résistance aux attaques des charançons.
- Le maïs à éclater (*pop-corn*) est une variante du maïs corné ayant des grains de petite taille très durs, l'humidité des grains le fait gonfler lorsqu'on les fait chauffer, ce qui provoque leur éclatement.
- Le maïs farineux contient surtout de l'amidon peu dense et il est facilement moulu en farine. Ce maïs ne représente que 12 à 13 % de la production mondiale. Il est très cultivé surtout dans les pays africains et dans les régions andines d'Amérique du Sud.
- Le maïs doux ou maïs sucré (*saccharata*) est le type de maïs couramment cultivé aux États-Unis pour la consommation humaine (ENCARTA, 2009).

I.1.4 Importance économique

La production mondiale de maïs en 2003, s'était élevée à 600 millions de tonnes ; en 2010 le niveau de production était arrivé à 812 millions de tonnes (INFOCOMM, 2012). Il semble qu'il y ait une tendance à la hausse pour les prochaines années en raison principalement de la croissance démographique (INRA, 2003). Toutefois, l'augmentation de la productivité due à l'utilisation de variétés améliorées et des pratiques agronomiques a eu un grand impact dans la réduction des prix du maïs (FAO, 2003). Actuellement, la production mondiale de maïs est d'environ 943 millions de tonnes. Bien qu'il soit originaire de la Mésio-Amérique, le maïs est très adaptable à différentes intempéries et aujourd'hui, sa consommation est devenue mondiale. Dans les pays en voie de développement tels que les

pays latino-américains et ceux de l'Afrique, le maïs occupe le premier rang et il vient en troisième place en Asie après le riz et le blé. Les États-Unis sont les premiers producteurs de maïs (60% du total mondial). Les autres grands pays producteurs de maïs sont la Chine (20% du total mondial), le Brésil, le Mexique et la France (FAO, 2003). En 2013, l'Afrique du Sud était le premier pays producteur de maïs en Afrique avec une production de 12,4 millions de tonnes sur une superficie de 3,3 millions d'hectares.

Le maïs est une denrée de base pour beaucoup de pays africains. En Afrique occidentale, le maïs est aujourd'hui classé filière agricole majeure et bénéficie de ce fait d'un important soutien politique. Sa valeur ajoutée est estimée à plus de 2 milliards d'euros, elle profite principalement aux populations rurales et assure plus de 10 millions d'emplois permanents (Baris et Demay, 2009). La production de grains de maïs au Sahel et en Afrique de l'Ouest, devance légèrement celle du riz et du blé, elle est d'environ 19 millions de tonnes (FAO, 2014). D'importantes surfaces sont également consacrées à la production de maïs-fourrage destiné à l'alimentation du bétail, soit en vert soit sous forme d'ensilage.

I.1.5 Pratiques culturelles et utilisation du maïs

Le maïs peut être cultivé en premier cycle c'est-à-dire en cycle unique d'Août à Octobre, ou en deuxième Cycle entre Juin et Août (Koné, 1991). Le cycle unique permet de mieux caler la culture du maïs par rapport aux pluies. Le maïs peut aussi être cultivé en semis purs ou en association avec d'autres cultures (sorgho, igname, ananas...). L'igname, l'arachide et le haricot sont de bons précédents culturels du maïs.

Une production à échelle commerciale suppose une préparation mécanisée des sols en termes de labours et de contrôle de l'humidité. Le maïs pousse sur divers types de sols mais il a une préférence à un limon bien drainé, humide, avec un pH compris entre 5,8 et 6,5. Veiller à conserver un pH adapté au maïs améliore la capacité de la plante à tirer parti des nutriments du sol. Dans un sol trop acide, la plante est incapable d'utiliser pleinement les nutriments essentiels que sont l'azote, le potassium et le phosphore. Les besoins en fertilisation, ramenés à l'hectare tendent à être plus élevés pour le maïs que pour les autres cultures (INFOCOMM, 2012).

Le semis est la partie la plus importante du cycle de production du maïs. De façon générale, il doit se faire dans un lit de semences tiède, humide et ferme. Le labour en culture du maïs se justifie pour plusieurs raisons, telles que l'amélioration de l'uniformité du lit de semences, une meilleure cohérence de la performance du semoir, et une levée du maïs plus rapide et plus uniforme. Pour maximiser le rendement, les semences sont plantées mécaniquement par des semoirs en ligne. En phase végétative, le maïs a besoin d'environ 46 à 56 cm d'humidité dans le sol pour exprimer pleinement son rendement potentiel, cependant, durant les 40 jours environ qui séparent la levée de l'apparition des panicules, le maïs est relativement résistant à la sécheresse. La récolte se fait lorsque les spathes de l'épi ont jauni et que les feuilles sont en voie de dessèchement, les grains de maïs ne doivent plus pouvoir se rayer aux ongles. Ainsi, pour une efficacité optimale de la récolte, le maïs doit être récolté plus humide qu'il ne doit l'être pour l'entreposage. La synchronisation de ces opérations minimise les pertes à la récolte et les dégâts subis par les grains, et élimine les incertitudes liées aux aléas climatiques. Il existe de nombreuses méthodes acceptées pour sécher le maïs, chacune avec ses avantages et ses limites (INFOCOMM, 2012).

Au Sénégal, quoique secondaire en termes d'importance de la production, le maïs est quand même bien ancré dans certaines localités du pays. Sa culture est aujourd'hui sujette à la quantité de pluies que reçoivent les différentes zones agro-écologiques. Il en résulte que la culture du maïs est confinée principalement dans les régions de Fatick, Kaolack, Kolda, Tambacounda et Ziguinchor. Elle se pratique aussi en zones plus sèches, en l'occurrence la Vallée du fleuve Sénégal, essentiellement lors des décrues (Guèye *et al.*, 2012). Toutefois, en 2003, le maïs fut choisi comme « *spéculation test* » dans un vaste programme gouvernemental dont l'objet est à court terme la réalisation de la sécurité alimentaire du pays. C'est ainsi que la production atteint un niveau jamais égalé, soit près de 510,236 t, d'après les Services Agricoles et les Services de la Prévision et des Statistiques (Fall *et al.*, 2004).

Le maïs mis sur le marché est souvent séché en vue de sa transformation, et vendu sous différentes formes telles qu'épis entiers, grains séparés, et farines (INFOCOMM, 2012). Le maïs a trois utilisations possibles: aliment pour les humains, aliment pour les animaux et matière première pour l'industrie. En alimentation humaine, le maïs est consommé frais, grillé ou bouilli et sous forme de grains cuits avec une légumineuse. Le maïs est réduit en semoule ou en farine, pour la fabrication de la pâte, des bouillies, des biscuits et des colles. Le maïs sert également de matière première à l'industrie pour la fabrication d'amidon, d'huile, de protéines, de boissons alcoolisées, d'édulcorants alimentaires et plus récemment, de carburant.

A l'état vert, l'ensilage de maïs-fourrage est utilisé avec beaucoup de succès dans l'industrie laitière et pour l'embouche. Après la récolte du grain, les fanes et les sommités, y compris les inflorescences, fournissent un fourrage d'assez bonne qualité pour les ruminants. Les germes de maïs donnent de l'huile qui sert à la fabrication de margarines, de savons, de vernis et de textiles artificiels. Quant aux tiges érigées qui dans certaines variétés, sont rigides, elles entrent dans la fabrication de clôtures et de parois très résistantes (FAO, 1993 ; Nyabyenda, 1995).

I.1.6 Contraintes liées à la culture du maïs

Un certain nombre de facteurs limitent la production de maïs à savoir la sécheresse, soit à la levée soit en fin de cycle chez la culture de deuxième cycle. Par ailleurs, les pluies abondantes de Septembre peuvent causer des excès d'eau qui provoquent la lixiviation des éléments minéraux par drainage, le défaut d'ensoleillement qui limite le potentiel radiatif pour la photosynthèse. Mais les problèmes majeurs de production du maïs auxquels la recherche et les producteurs ont à faire face sont les maladies et les ravageurs qui causent le plus de dégâts à la culture. L'helminthosporiose, le charbon, la striure du maïs et la rouille constituent les principales maladies tandis que les principaux ravageurs sont les foreurs de tiges et des épis ainsi que les vecteurs des maladies (*Cicadulina sp*) (Nyabyenda, 1995). Le ver de l'épi de maïs, *Helicoverpa armigera*, est un papillon de nuit omniprésent dont la larve se nourrit aux dépens de l'épi de maïs. Les chenilles de la Pyrale du maïs, *Ostrinia nubilalis*, endommagent les épis et causent la rupture des tiges, entraînant la chute de la plante. Les charançons du sol (*Protostrongylus spp.*) rongent les feuilles des jeunes plants de maïs et, quand ils sont nombreux, peuvent causer des dégâts considérables (INFOCOMM, 2012).

Les grandes maladies du maïs peuvent être regroupées en quatre catégories : flétrissures de la feuille, pourritures de la tige, pourritures de l'épi, et affections virales. Le maïs est touché par de nombreuses maladies de flétrissure foliaire. Les plus répandues sont la maladie des tâches grises de la feuille (*Cercospora zeae-maydis*), la flétrissure bactérienne de Stewart (*Pantoea stewartii*) qui infecte la plante à travers les blessures causées par l'insecte vecteur en se nourrissant, l'altise du maïs (*Chaetocnema pulicaria*), et la tache septentrionale du maïs (*Exserohilum turcicum*). Les maladies les plus importantes et les plus répandues affectant le maïs sont les pourritures de la tige ; les pertes estimées sont entre 5 et 10%. Il existe de

nombreuses pourritures de la tige, mais la fusariose de la tige (*Gibberella zeae*) et l'anthracnose du maïs (*Colletotrichum graminicola*) sont les plus répandues.

La principale pourriture de l'épi est la fusariose de l'épi (*Gibberella zeae*), d'autres encore sont causées par des *Fusarium* (*Fusarium moniliforme*) et *Diplodia* (*Stenocarpella maydis*). La mosaïque nanisante chlorotique du maïs est une maladie virale à fort potentiel de destruction, surtout en présence de plantes hôtes alternatives telles que le sorgho d'Alep (*Sorghum halepense*). Les deux virus à l'origine de cette maladie sont capables de survivre en colonisant cette herbe adventice pérenne. Les pucerons et sauterelles qui s'alimentent sur le sorgho d'Alep sont les vecteurs des virus (INFOCOMM, 2012).

Le maïs arrivé à maturité est sérieusement endommagé par les oiseaux. La culture se heurte aussi, dans plusieurs zones, au problème de faible fertilité des sols et de mauvaises herbes, le striga en particulier (Nyabyenda, 1995). Il y a aussi le manque de variétés adaptées aux conditions pédoclimatiques, la vétusté du matériel et l'absence de maîtrise des paysans aux techniques culturales appropriées (Koné, 1991).

En plus, nous avons des contraintes majeures dues aux insectes avec certains comme les cantharides qui dévorent les organes floraux entraînant ainsi l'avortement des épis de maïs.

I.1.7 Les méthodes de stockages

Le stockage des céréales peut revêtir des formes très différentes dans une même région. Deux modes de stockage sont rencontrés : en épis et en grains. Leur fréquence est quasiment la même avec environ 40 % d'adoption. Par contre, 17 % des producteurs pratiquent à la fois les deux modes de stockage. La durée du stockage est de 6 mois en moyenne, compte non tenu du mode adopté (Gueye *et al.*, 2012).

En zone de savane, le maïs est fréquemment stocké à l'air libre en guirlandes, les épis étant attachés deux à deux par leurs spathes et fixés à une corde directement accrochée dans un arbre ou suspendue à une traverse reposant sur des pieux verticaux (Ratnadass et Sauphanor, 1989 ; Gueye *et al.*, 2012) (figure 2).



Figure 2 : Épis de maïs suspendus au-dessus d'un hangar

Source : Waongo, 2009

Il peut également être stocké en greniers fermés en banco de forme cylindrique, isolés du sol et recouverts de paille ou tressés reposant sur une plate-forme surélevée. En zone de forêt, le maïs est parfois stocké en guirlandes, mais plus fréquemment dans les greniers cuisines (pièces surélevées dans des cabanes rectangulaires en lattes) ou dans des magasins en banco ou cimentés. Il est presque exclusivement conservé en épis non déspathés. Certains paysans utilisent des techniques traditionnelles de protection : cendres, feu sous le stock lorsque la structure de stockage le permet (Ratnadass et Sauphanor, 1989).

Le maïs est souvent stocké en épis au-dessus des foyers domestiques et ces épis sont ainsi enfumés presque en permanence (figure 3). Cet enfumage ne tue pas les insectes mais les éloigne et empêche la ré-infestation (Waongo, 2009).

THS 2020-0052

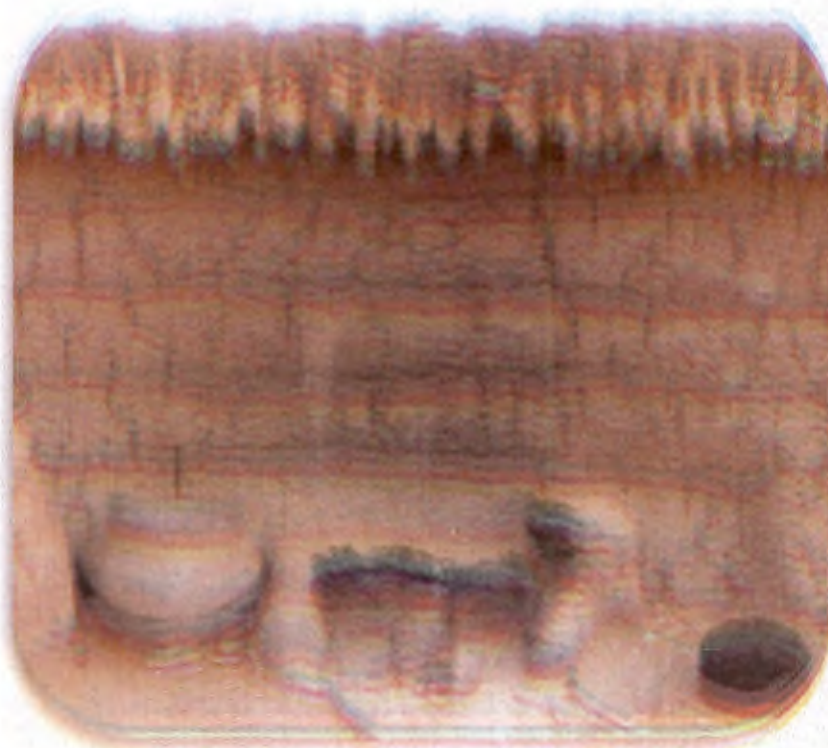


Figure 3 : Épis de maïs accrochés au-dessus d'un foyer

Source : Waongo, 2009

Normalement, durant la première année d'entreposage, le maïs n'a pas besoin de fumigations à condition que les protocoles de désinfection et les insecticides résiduels aient été correctement appliqués. Cependant, si les mesures de prévention anti-insecte ont échoué, la fumigation du maïs entreposé peut se justifier (INFOCOMM, 2012).

I.1.8 Les pertes causées par les insectes

Le maïs est sujet à des déprédations constantes par des insectes aussi bien aux champs que durant le stockage. Les attaques des insectes sont perçues au niveau du producteur comme pertes en ce sens qu'elles réduisent subséquemment le poids de la denrée en cas de forte infestation. Les taux évalués peuvent devenir énormes en six mois seulement, estimés à près de 18 % avec le maïs égrené, 20 % avec la conservation en épis et près de 27 % dans le cas d'un stockage en épis suivi d'un égrenage. Il n'en demeure pas moins que bon nombre de

producteurs affirment avoir au moins une fois un stock complètement anéanti par les insectes (Gueye *et al.*, 2012).

Le plus dommageable est le charançon du maïs, *Sitophilus zeamais* (Motschulsky) (Coleoptera Curculionidae), (Markham *et al.*, 1994 ; Throne, 1994). Ce ravageur primaire est capable de se développer sur toutes les autres céréales et produits céréaliers. Il infeste le maïs au champ, juste avant la récolte puis au cour du stockage entraînant une perte de poids allant jusqu'à 30% (Gueye *et al.*, 2011) (figure 4).

Après plusieurs mois de stockage, on observe un accroissement de populations d'autres ravageurs comme *Cryptolestes minutus* (Olivier), *Sitophilus oryzae* L., *Rhyzopertha dominica* F. et *Sitotroga cerealella* Ol. (Ratnadass et Sauphanor, 1989). Ces pertes après récolte sont sensiblement élevées dans les pays en développement comme ceux de l'Afrique.



Figure 4 : Grains de maïs infestés par *Sitophilus zeamais*

Source : http://dilex.com.ua/eng/supplement-information/rice_weevil

I.2 LE MIL

Le mil pénicillaire, mil à chandelle ou petit mil (en anglais "Pearl millet") est une herbe annuelle du genre *Pennisetum* (*Pennisetum glaucum*) (Leek) R.Br (figure 5). Il est cultivé comme céréale dans les zones tropicales semi-arides de l'Ancien Monde (Afrique et Inde) pour son grain, c'est une céréale monocotylédone. En 2011, selon la DAPS du ministère de l'agriculture, la superficie de la culture du mil au Sénégal dépasse un million d'hectares (1, 033,157 ha) et la production annuelle est environ 813,295 t.



Figure 5 : Champ de mil du Sénégal oriental

Source : <http://www.museum.agropolis.fr/pages/expos/agriculteurs/objets/objet21g.htm>

I.2.1 Origine et taxonomie

Le Niger, situé au cœur de l'Afrique de l'ouest est la zone d'origine et de domestication du mil (Bezançon et Pham, 2004). Il y a environ 2000 ans, le mil a été transporté en Afrique orientale, centrale et en Inde où en raison de son excellente tolérance à la sécheresse, il s'est établi dans les environnements les plus secs (FAO, 1995). Il a atteint l'Amérique tropicale au XVIII^e siècle, et les Etats-Unis au XIX^e. Le mil est une céréale courante des zones semi-arides d'Afrique occidentale et des régions les plus sèches d'Afrique orientale et australe, ainsi que du subcontinent indien (Andrews et Kumar, 2006). C'est une céréale de première importance dans une bonne partie de l'Inde où les rendements mondiaux moyens les plus élevés sont obtenus (Dabre, 2008).

Le mil a connu plusieurs appellations selon les auteurs : *Pennisetum gambiense* Stapf. , 1855 ; *Pennisetum typhoideum* Rich, 1887; *Pennisetum Spicatum* Roern et *Pennisetum americanum* Leckc, 1987. Le mil est une herbe qui possède $2n = 2x = 14$ chromosomes. Le *Pennisetum glaucum* (L.) R.Br. est le plus couramment utilisé. Il a la classification suivante :

Famille des Poacées (Graminées),

Sous famille des Panicoidae,

Tribu des Paniceae,

Section des Pennicillariae,

Genre *Pennisetum*,

Espèce *Pennisetum glaucum* (ICRISAT, 2007).

I.2.2 Morphologie et Biologie

Le mil est une graminée protogyne et allogame, dont le cycle est variable. Le système racinaire est de type fasciculé. Il est concentré dans les trente premiers centimètres du sol, mais certaines racines peuvent descendre jusqu'à trois mètres de profondeur. La tige ou chaume est ronde, avec un nombre variable d'entre-nœuds alternant avec des nœuds, à la base desquels les feuilles sont insérées par l'intermédiaire de la gaine. Les nœuds sont verts ou colorés de pigments en nombre variable. Les entre-nœuds sont creux, glabres ou pubescents. Le nœud et l'entre-nœud sont séparés par une bande d'ébauche radiculaire et d'un méristème intercalaire (Bezançon *et al.*, 1985 ; Ishwar *et al.*, 1990). La hauteur de la plante varie entre un et trois mètres. Elle peut même atteindre quatre mètres de hauteur dans les zones humides

(Chanterau *et al.*, 2002). Les feuilles sont retombantes, alternes, simples leur nombre et leur dimension sont variables. Elles sont longues (0,5 - 1 mètre), étroites (0,04 - 0,05 mètre), ouvertes et pubescentes. La gaine souvent poilue ; ligule courte, membraneuse, pourvue d'une frange de poils ; limbe linéaire à linéaire-lancéolé à bords finement dentés, plus ou moins rugueux (Andrews et Kumar, 2006). L'inflorescence est un faux épi de longueur et de grosseur variables (caractères à forte héritabilité). La fleur est bisexuée, le fruit est un caryopse de couleur et de vitrosité variables. Les grains de forme ovoïde, globulaire peuvent être de couleur blanche, jaune, brune, grise, crème et sont densément répartis sur l'épi (Saint-Clair, 1989).

1.2.3 Distribution et Variétés

80% des superficies en mil dans le monde se trouvent en Afrique de l'Ouest, dans les zones où la pluviométrie moyenne annuelle varie entre 200 et 800 mm. En Afrique, la culture du mil est pratiquée dans un grand nombre de pays, notamment au Nigeria, au Niger, au Burkina Faso, au Mali, au Sénégal et au Soudan (Dabre, 2008).

Le mil est de loin la céréale la plus importante au Sénégal, tant pour les superficies emblavées que pour la production qui représente en moyenne plus de 60% de la production céréalière du Sénégal (sur un total d'un million de tonnes). Le mil (souna) est cultivé principalement au centre du pays plus connu sous l'appellation du Bassin arachidier couvrant les régions de Kaolack, de Louga, de Diourbel, de Thiès où l'on a longtemps vécu sur une rotation mil/arachide (INFO CONSEIL et PAOA, 2006). Selon la DAPS (2012), la région de Kaolack représente 26 % des superficies cultivées (118, 177,6 ha) et 39 % de la production nationale (98, 796,6 t). En 2008, selon le cahier d'opportunité des filières du ministère de l'agriculture, le mil est cultivé dans la zone de Tambacounda où la production a atteint 24, 705,6 t en 2012.

Les variétés de mil cultivées au Sénégal sont de type Souna à cycle court et Sanio à cycle long. Elles sont caractérisées par l'utilisation de la main d'œuvre familiale, des outils manuels, un faible accès au marché et une faible pression phytosanitaire. Le Souna, moins sensible à la photopériode, est plus couramment cultivé et présentent une plus grande diversité génétique que le Sanio, chez lequel la date de floraison dépend fortement de la longueur du jour. Le type Sanio est cultivé dans les régions où la saison des pluies est plus longue et où le sorgho est la céréale principale (Andrews et Kumar, 2006). En effet, en 2001, selon le

ministère de l'agriculture et de l'élevage du Sénégal, le mil constitue la base de l'alimentation des populations. Il est généralement cultivé en " pur " ou parfois en association avec le niébé, qui est semé en " dérobé " et l'utilisation de variétés locales prédomine.

Parmi les autres mils de la tribu des Paniceae, figurent cinq autres espèces d'importance variable. Le millet commun est originaire d'Asie et cultivé en Afrique orientale et en Europe orientale ; le millet des oiseaux est cultivé en Inde et en Malaisie ; le fonio est une petite plante (45 cm) cultivée en Guinée, en Sierra Leone, au Mali, au Burkina et dans le nord du Nigeria ; l'échinochloa est cultivé en Inde et le paspalum est spontané en Afrique et cultivé en Inde (Loumerem *et al.*, 2009).

I.2.4 Importance économique

Le mil, *Pennisetum glaucum* (L), est la céréale la plus tolérante à la sécheresse (FAO, 2002). Compte tenu de l'importance relative du mil dans les différents pays, on peut estimer la production annuelle de mil en grain en 2006 à environ 18 millions de tonnes sur une superficie cultivée de 26,5 millions d'ha, essentiellement dans les régions sèches d'Afrique (60% de la superficie et 58% de la production) et dans le sous-continent indien (38% de la superficie et 41% de la production). Les statistiques de production sur les 10 dernières années font apparaître une augmentation de 20% de la superficie cultivée en Afrique, et un accroissement du rendement de 12%. Cette augmentation de la superficie concerne surtout le Burkina Faso, le Tchad, le Mali, le Niger et le Nigeria, mais le niveau des rendements s'est accru seulement dans ces deux derniers pays. Au cours de la même période, la superficie cultivée de mil en Inde a baissé de 16%, mais les niveaux de rendements ont augmenté de 30%. (Andrews et Kumar, 2006).

Il y a peu d'échanges au niveau du commerce international, la production étant le plus souvent autoconsommée. Lorsque les récoltes sont bonnes en Afrique de l'Ouest, il y a un mouvement de mil allant des régions productrices vers le sud dans les régions plus pluvieuses mais déficitaires en mil, et vers le Nord, pour approvisionner les populations nomades (FAO, 1997). En Afrique, 70 % de la production provient de l'ouest du continent. Les principaux pays producteurs sont, par ordre d'importance décroissante : le Nigeria, le Niger, le Burkina Faso, le Tchad, le Mali, la Mauritanie et le Sénégal (Dabre, 2008). En Afrique de l'Est, le Soudan et l'Ouganda sont les plus gros producteurs alors qu'en Afrique Australe les cultures traditionnelles ont quasiment disparu (Bezançon *et al.*, 1997). 500 millions de personnes

dans le monde dépendent du mil pour leur survie. Au Sahel, le mil est cultivé principalement pour la consommation humaine. Il reste en dépit de sa faible productivité, une culture céréalière de grande importance du fait de sa part élevée dans l'alimentation des populations et de la diversité des utilisations auxquelles il est destiné (Dabre, 2008). Selon MAE (2001), le mil représente environ 40% des cultures céréalières au Sénégal. En 2012, la superficie de culture du mil au Sénégal est de 779, 803 ha avec une production de 480, 759 t.

Dans le bassin arachidier, le prix du mil varie en fonction des périodes. En effet, selon Ouedraogo et Sidibe (1991), quatre périodes dans le bassin arachidier montrent l'existence des indices saisonniers du prix du mil aux producteurs. Il y a la phase de saturation allant du début de la récolte à la veille de la campagne effective de la commercialisation de l'arachide (octobre à décembre). La phase de la commercialisation effective de l'arachide (janvier à mars) où il y a une remontée des prix du mil. La période de préparation des cultures (Avril à juin), c'est quand les producteurs ont besoin de liquidités pour financer les semences d'arachide. Le mil est relativement plus disponible dans les marchés et son prix tend à baisser. La période de soudure (juillet - août) voit les prix du mil remonter à un niveau maximum relatif ou absolu, et baisser ensuite en septembre avant la récolte suivante.

Le mil pénicillaire a le potentiel de rendement le plus élevé de toutes les espèces de mil en conditions de sécheresse et de températures élevées (ISRA-KARTALA, 2010). Les rendements en grains vont de 250 kg/ha dans les régions les plus sèches à 500 - 1500 kg/ha dans les principales régions de production. Les moyennes de rendements en Afrique et en Inde sont d'environ 670 et 790 kg/ha respectivement. Dans des conditions optimales, les hybrides peuvent atteindre des rendements en grains de 5 t/ha en 85 jours ; des rendements de 8 t/ha ont même été obtenus. Chez les variétés locales, le rendement en matières sèches provenant des parties aériennes peut s'élever à 3 - 10 t/ha. Chez les hybrides sélectionnés spécialement pour le fourrage, ce chiffre s'élève à 10 - 20 t/ha, au cours d'une même saison (Andrews et Kumar, 2006).

1.2.5 Pratiques culturales et utilisation du mil

Le mil pénicillaire peut être cultivé dans des régions sèches, sur des sols sableux et pauvres, là où on ne pourrait pas cultiver le maïs, le sorgho ou l'éleusine. La culture du mil est généralement pratiquée dans les zones comprises entre les isohyètes 250 mm et 900 mm qui

correspondent aux zones Nord (région de Louga : 250 - 350 mm), Centre-Nord (régions de Diourbel-Thiès : 400 - 500 mm), Centre Sud (régions Kaolack - Fatick : 600 - 700 mm), et la partie septentrionale au Sud et Sud - Est (régions de Casamance - Tamba : 800 - 900 mm) (Diangar, 1991). Il est cultivé soit en culture pure continue dans les champs de case, soit en rotation avec l'arachide dans les champs de brousse, soit encore en culture associée avec le niébé dans le centre-Nord (ISRA-KARTALA, 2010). Le semis peut être réalisé à sec ou après une pluie de 20 mm ou plus. Il est habituellement semé en poquets, dont l'espacement varie entre 45 cm et 100 cm en champ paysan en fonction du système de culture et de la nature du sol (MAE, 1993). L'ouverture des poquets se pratique à la houe ou au bâton, le paysan y jette une pincée de graines et recouvre le trou de terre à l'aide du pied. Au premier désherbage, il éclaircit pour ne laisser que 2 ou 3 plantes par poquet. Les paysans ont tendance à adapter la densité des plantes à la moyenne des précipitations et à la fertilité du sol. La densité se situe généralement dans une fourchette de 20.000 - 50.000 plantes par ha en culture pure. Les quantités de semences s'échelonnent de la même façon, de 2 - 5 kg par ha (Andrews et Kumar, 2006).

Les grains se forment sur un faux épi compact de 10 à 150 cm de long (chandelle). Ils arrivent à la maturation physiologique 20 à 50 jours après floraison, selon les variétés. La récolte est effectuée à maturité. Les chandelles sont séparées des tiges et ramassées à l'aide d'un instrument traditionnel de récolte appelé "NGOBOU ou NGOBANE", ou d'un couteau ordinaire (Mbengue, 1987).

La teneur en eau des épis est assez élevée mais le séchage permet de déshydrater les produits jusqu'à ce que leur métabolisme et celui des microorganismes associés soit fortement ralenti. Les épis sont séchés soit à même le sol, soit sur le lit de paille, soit encore sur claies surélevées (perroquets) ou les bottes sont entreposées, ou bien sur des séchoirs (cribs) orientés perpendiculairement à la direction du vent. Dans ces conditions, le séchage dur 7 à 8 semaines et les grains font l'objet d'attaques de la part des rongeurs, des oiseaux et des insectes (Mbengue, 1987). Le battage s'effectue d'habitude manuellement lorsqu'il y a un besoin en grains (Andrews et Kumar, 2006). Après le séchage, la récolte est conservée par le paysan pour servir de nourriture, de vente mais aussi pour constituer ses semences de l'année suivante.

Le stockage en épis ou en panicules dans des greniers en fibres végétales tressées est le plus répandu au Sénégal (Mbengue, 1989). Le stockage en grains s'effectue dans des sacs. S'il est

sec et bien protégé contre les insectes, le grain peut se conserver convenablement à température ambiante pendant plusieurs années. La farine de mil, à moins d'être moulue à sec et bien emballée, est de médiocre qualité du point de vue de sa conservation, car elle rancit du fait de sa forte teneur en huile (Andrews et Kumar, 2006). La partie servant de nourriture est décortiquée, ce qui permet de débarrasser le grain de ses enveloppes. Le produit est ensuite vanné, lavé et ressuyé pour subir une fermentation et être pilé à nouveau puis tamisé pour donner des semoules qui, reconditionnées, serviront à la préparation de divers mets (Mbengue, 1986).

Le grain entier de mil séché contient, par 100 g de partie comestible : eau 12, g ; énergie 1428 kJ (341 kcal) ; protéines 10,4 g ; lipides 4, g ; glucides 71,6 g ; fibres 1,9 g ; Ca 22 mg ; P 286 mg ; Fe 20,7 mg ; traces de β -carotène ; thiamine 0,3 mg ; riboflavine 0,22 mg ; niacine 1,7 mg et acide ascorbique 3 mg (Leung *et al.*, 1968 in Andrews et Kumar, 2006). La teneur en acides aminés essentiels, par 100 g d'aliment, est : tryptophane 189 mg, lysine 332 mg, méthionine 239 mg, phénylalanine 467 mg, thréonine 374 mg, valine 535 mg, leucine 927 mg et isoleucine 397 mg. Sur le plan nutritionnel, le mil est meilleur que le maïs et le sorgho (Andrews et Kumar, 2006).

Décortiqué et réduit en farine, le mil se consomme sous la forme d'une bouillie consistante en Afrique, ou d'un pain non levé (le "chapatti") en Inde. En Afrique, il existe d'autres préparations telles que le couscous, des produits qui rappellent le riz, des amuse-gueule faits de mélanges avec des légumes secs, ainsi que des boissons fermentées et non fermentées. Dans plusieurs préparations en Inde, ce sont les grains grillés qui sont utilisés.

Les tiges de mil ont une valeur socioculturelle élevée après la récolte entrant dans la confection des cases, des paniers et des murs des concessions ainsi qu'en alimentation animale (Chanterau *et al.*, 2002). Ainsi, elles s'emploient couramment dans la fabrication de clôtures, de toitures et en constructions, comme combustibles et aussi comme fourrage de qualité médiocre. Les tiges fendues en deux sont utilisées en vannerie. Un colorant pour le cuir et le bois s'obtient à partir des types à fleurs rouges et violettes (Andrews et Kumar, 2006).

En médecine traditionnelle africaine, le grain était jadis appliqué pour soigner les problèmes pulmonaires, la lèpre, la blennorragie et les empoisonnements. Le grain broyé servait de vermifuge pour les enfants. Une décoction de racine se boit pour traiter la jaunisse. La vapeur d'extraits de l'inflorescence est prise en inhalation par les enfants souffrant de maladies respiratoires. Dans certaines régions, les grains sont utilisés dans des rituels. En dehors de

l'Afrique et de l'Inde, le mil se cultive surtout en tant que fourrage vert pour l'ensilage, le foin et la pâture. Depuis qu'il a été découvert que le mil était capable de faire disparaître les nématodes des lésions de racines (*Pratylenchus penetrans*), il est utilisé de plus en plus au Canada en remplacement de la fumigation du sol dans la culture du tabac et de la pomme de terre (Andrews et Kumar, 2006).

I.2.7 Méthodes de stockage

Après récolte, le mil est stocké dans des greniers. Au Sénégal les types de greniers varient en fonction des localités et des ethnies. Ainsi dans les régions comme le Sine-Saloum, le Sénégal oriental et la Haute et Moyenne Casamance, différentes méthodes de stockages du mil sont pratiquées. Ainsi on distingue :

- Le Grenier traditionnel (stockage domestique) en Nguer au Sine Saloum où les grains sont conservés en épis ou en vrac. Ils sont généralement surélevés pour éviter l'attaque des rongeurs. Ces greniers sont marqués par trois rangées de briques de ciment qui soutiennent le grenier en remplacement des poteaux en bois utilisés autrefois. Ils ont généralement une forme cylindrique avec un chapeau au-dessus (figure 6). La capacité varie d'un à trois tonnes. L'infestation par les insectes est fréquente. Les producteurs essaient d'y faire face en mélangeant les grains avec de la poudre insecticide, de la cendre ou des feuilles de nime (*Azadirachta indica* A. Juss.) (Ndiaye, 1999).



Figure 6 : Grenier traditionnel en Nguer au Sine Saloum

Source : FAO, 2008

- Les nouvelles structures de stockages, appelées magasins au Sine-Saloum en remplacement des greniers traditionnels. Ces magasins de stockage commercial, administratif ou privé sont généralement de forme rectangulaire (figure 7). Dans ces greniers, on y stocke des épis ou des grains battus et qui sont dans des sacs posés à même le sol. La capacité de ces magasins va de cinq à dix tonnes.



Figure 7 : Magasin de stockage

Source : FAO, 2008

- Le Grenier collectif chez les Peulh de Haute Casamance (FAO, 2008). Il est constitué d'une sorte de grand panier, posé sur une plateforme en bois à quelques dizaines de centimètres (30 - 40 cm) du sol, et recouvert d'un toit de chaume (figure 8). La récolte y est stockée en panicules, parfois pendant plusieurs années (Waongo, 2009).



Figure 8 : Grenier collectif en chaume

Source : Waongo, 2009

- Le Grenier Mandingue entièrement construit en matière végétale, appelé Bountoung. Ce grenier est utilisé pour le stockage d'épis de céréales au sud du Sénégal et au nord de la Guinée-Bissau (figure 9). Ces systèmes de stockage assurent une meilleure protection des denrées contre les intempéries. Toutefois, ces systèmes poreux n'offrent aucune protection contre la pénétration des déprédateurs (Waongo, 2009).



Figure 9 : Bountoung

Source : FAO, 2008

Cependant quel que soit le type de greniers des insectes ravageurs comme *Tribolium castaneum* parviennent à créer des dégâts sur les stocks de mil.

I.2.8 Contraintes liées à la culture du mil

Le mil constitue l'aliment de base des populations en Afrique et en Inde. Cependant, sa production est insuffisante pour satisfaire les besoins des populations du fait des contraintes socio-économiques, les contraintes abiotiques ou environnementales (sol, eau, éléments nutritifs) et les contraintes biotiques avec les adventices, les maladies et les insectes (Mbaye, 1993).

Les contraintes abiotiques portent essentiellement sur les contraintes édaphiques et climatiques. Les contraintes édaphiques sont dues essentiellement à la pauvreté des sols en substances minérales et organiques (Traore *et al.*, 2003) et celles climatiques portent pour l'essentiel sur l'irrégularité des pluies, leur insuffisance et leur mauvaise répartition dans le temps et dans l'espace (Dabre, 2008).

Les contraintes biotiques concernent les maladies, les adventices et les insectes ravageurs. Les maladies du mil sont généralement bien réparties dans toute la zone sahélienne de l'Afrique de l'Ouest. Le mildiou (*Sclerospora graminicola*) est sans doute l'agent le plus fréquemment identifié comme le plus dangereux (Ndoye *et al.*, 1986). Il y a aussi le charbon (*Tolyposporium penicillariae*), la rouille (*Puccinia substriata* var. *penicillariae*) et l'ergot (*Claviceps fusiformis*) qui sont d'importantes maladies du mil, aussi bien en Afrique qu'en Asie. En zone sahélienne de l'Afrique de l'Ouest, les adventices constituent un grand problème pour la culture du mil (Dabre, 2008). Dans la flore, des mauvaises herbes présentent un cas particulier tel que les espèces parasites du genre *Striga*, notamment *Striga hermonthica* qui cause localement des dégâts importants surtout dans des champs exploités de façon continue en Afrique de l'Ouest (Ndoye *et al.*, 1986 ; Andrews et Kumar, 2006). En plus, toutes les parties de la plante sont attaquées, la chandelle est essentiellement attaquée par le groupe des chenilles mineuses et la tige par le groupe des foreuses de tiges. Il s'agit de la foreuse de tige (*Coniesta ignefusalis*), la mineuse des chandelles (*Heliocheilus albipunctella*) et la cécidomyie (*Geromyia penniseti*) qui sont importantes par endroits. Les autres ravageurs sont les vers blancs, les sauterelles, les criquets, et différents lépidoptères (Andrews et Kumar, 2006). Il y a aussi le groupe des diptères ravageurs du mil, la chenille poilue du niébé, *Amsacta* sp. qui est devenue nuisible au mil.

Divers insectes ont été identifiés sur le mil stocké. Seck (1994) rapporte qu'au moins quinze espèces d'insectes s'attaquent aux stocks de céréales vivrières en milieu rural et parmi les

principales espèces, quatre Coléoptères tels que *Sitophilus zeamais* Motsch., *Sitophilus oryzae* (L), *Rhyzopertha dominica* (F.) et *Tribolium castaneum* (Herbst) ainsi que trois Lépidoptères, *Sitotroga cerealella* (Oliv.), *Ephestia cautella* (WLK) et *Corcyra cephalonica* (Staint) sont particulièrement importants. Ces insectes nuisibles peuvent être répartis en deux groupes : les ravageurs primaires et les ravageurs secondaires. Les premiers sont capables de s'attaquer à des grains intacts et les seconds ne peuvent déprécier les grains qu'à partir des ouvertures occasionnées par les ravageurs primaires leur servant de voies d'accès. Les pertes en matière sèche dues aux attaques de ces ravageurs sont difficilement estimables et n'ont fait l'objet que de rares travaux (Bekon et Fleurat-Lessard, 1989). Seck *et al.* (1992) ont mis en évidence l'importance du taux de brisures sur les pertes de mil stocké dues à l'insecte *T. castaneum*.

Sitophilus oryzae (L), *Sitophilus zeamais* et *Tribolium castaneum* sont les principaux coléoptères qui intéressent notre étude.

I.3 LE RAVAGEUR *SITOPHILUS ORYZAE*

Les grains entreposés subissent de multiples agressions de la part d'insectes appartenant à l'ordre des coléoptères lors du stockage et de la conservation. Ces coléoptères peuvent être répartis en deux groupes (Bekon et Fleurat, 1989) :

- Les ravageurs primaires dont *Sitophilus oryzae* (L.) et *Sitophilus zeamais* (M.) s'attaquent à des grains intacts.
- Les ravageurs secondaires capables de s'attaquer aux grains qu'à partir des ouvertures causés par les ravageurs primaires servant de voies d'accès, dans ce cas de ravageurs secondaires on retrouve le *Tribolium castaneum* (Herbst).

I.3.1 Position systématique

Il existe trois espèces connues de charançons des grains *Sitophilus oryzae*, *Sitophilus zeamais* et *Sitophilus granarius* (Fleurat-Lessard, 1982).

Sitophilus oryzae est l'un des insectes qui attaquent et déprécient les grains lors du stockage et de la conservation. Anciennement connu sous le nom de *Calandra* (Lepesme, 1944), il est maintenant, communément appelé charançon des grains. *Sitophilus oryzae* fait partie de la grande famille des Curculionidae, famille la plus importante du groupe des Rhynchophora, est composée d'insectes facilement identifiables à leurs têtes prolongées en un bec allongé en rostre à l'extrémité du quel se trouvent situés les organes buccaux broyeurs (Lepesme, 1944). Cette famille a été étudiée par Hoffmann (1950), elle compte environ 60000 espèces ; elle est divisée en 9 sous familles. C'est un groupe très hétérogène, caractérisé par une systématique interne très complexe (Paulian, 1988).

La position systématique de *Sitophilus oryzae* L. est la suivante :

Embranchement des Arthropodes,

Sous embranchement des Antennaires,

Classe des Insectes,

Sous-classe des Ptérygotes,

Super-ordre des Coléoptéroïdes,

Ordre des Coléoptères,

Sous-ordre des Polyphaga,

Super-famille des Phytophagoidea,

Famille des Curculionidae,

Sous-famille des Rhynchophorinae,

Genre *Sitophilus*,

Espèce *Sitophilus oryzae*.

I.3.2 Description morphologique

Sitophilus oryzae est caractérisé par la présence d'un long bec ou rostre. Ce rostre est finement ponctué et porte, à son extrémité, des pièces buccales broyeuses. Il porte aussi des antennes soudées, généralement formées de huit articles et terminées en massue. L'adulte mesure 2,5 à 4,5 mm, de couleur brune à brune noirâtre avec quatre grosses taches orangées sur les élytres qui sont ponctuées et striées. Les stries sur les élytres sont grossièrement ponctuées et les inter stries finement ponctuées. Il possède des ailes postérieures membraneuses et peut voler (Camara 2009).

I.3.3 Ecologie et Distribution géographique

Sitophilus oryzae est une espèce rencontrée surtout dans les zones tropicales et subtropicales, bien que le pays d'origine de cette espèce soit la région indienne. Actuellement cet insecte est cosmopolite et il est reparti dans le monde entier à cause des échanges internationaux. Il vit dans les pays chauds. C'est le premier ravageur mondial par sa fréquence dans les échantillons et par ses dégâts occasionnés sur les céréales. Il se rencontre en Afrique du Nord, dans les légumineuses telles que le pois chiche et le niébé (Duget, 1986).

En zone tropicale *Sitophilus oryzae* est souvent confondu avec *Sitophilus zeamais*, espèce très voisine, mais de taille plus importante et qui déprécie plus particulièrement le maïs (Seck, 2009).

I.3.4 Biologie de la reproduction

La maturité sexuelle est acquise dès le jour même où l'insecte sort du grain. La ponte, après accouplement, se fait, très souvent, au voisinage du sillon central du grain, près du germe (Kehe, 1975). A l'aide de son rostre, la femelle creuse un trou dont la profondeur atteint généralement la longueur pré antennaire du rostre et dont la largeur dépasse légèrement celle de l'œuf. Elle y dépose, directement, l'œuf qu'elle recouvre, alors, d'une matière gélatineuse qui durcit à l'air.

La ponte persiste toute la vie de l'insecte, le nombre d'œufs déposés par une femelle pouvant atteindre 200 - 400 œufs, soit une moyenne de 10 œufs par jour, à la température de 32°C (Steffan, 1978). La femelle a une longévité de six à sept mois.

Le cycle de développement de *Sitophilus oryzae* comporte quatre stades : œuf, larve, nymphe et imago :

- **L'œuf** (figure 10)

Il est oblong et mesure 0,5 - 0,8 mm de grand axe et 0,2 - 0,3 mm de petit axe (Steffan, 1978). La durée de développement embryonnaire varie avec la température. Elle est de 6 jours à 28°C, elle atteint 10 jours à 20°C et 15 jours à 16°C. En dessous de 16°C, l'évolution de l'œuf est arrêtée (Lepesme, 1944).

- **La larve** (figure 10)

Après l'éclosion, la jeune larve passe par quatre stades que l'on identifie par la longueur de la capsule céphalique. La larve est longue de 2,5 à 3mm, de couleur blanche, de forme subcirculaire, apode et très peu velue. Les larves se développent à l'intérieur de la graine. Elle est de forme très ramassée, presque globuleuse. Sa couleur est blanchâtre. Sa tête, d'un brun-clair, porte des mandibules plus sombres, fortes et triangulaires. Au plan morphologique, la larve de *Sitophilus* se distingue des larves des autres Coléoptères des denrées par l'absence de pattes. Au plan physiologique, la différence s'établit par le nombre, à la fois constant et très peu élevé de ses mues ; on compte au total 3 mues correspondant à 4 stades larvaires (Lacoste, 1970 ; Steffan, 1978). Peu avant la métamorphose, la longueur de la larve du 4^{ème} stade atteint, environ celle de l'adulte. L'évolution larvaire est variable et s'étend sur un à quatre

mois suivant la température et d'autres facteurs ambiants d'élevage (Lepesme, 1944 ; Steffan, 1978).

- **La nymphe** (figure 10)

A son complet développement, la larve aménage une sorte de chambre de nymphose où elle passe par un stade pré nymphal. Après une période d'immobilisation de 50 heures environ, le pré nymphe se transforme en nymphe (Lepesme, 1944). La durée de ce dernier stade varie de 6 jours (à 22°C) à 15 jours (de 16° à 18°C). Après la métamorphose, la nymphe, morphologiquement identique à l'adulte, reste repliée, le rostre tourné vers l'abdomen, se transforme en un imago d'aspect clair qui demeure à l'intérieur du grain encore 3 à 5 jours (à 25°C) en attendant que durcissent ses téguments (Longstaff, 1981).

- **L'adulte** (figure 10)

Le développement juvénile, c'est à dire le développement pré imaginal qui s'effectue à l'intérieur de la graine est désigné par le terme général de "formes cachées". L'imago perce, ensuite l'enveloppe du grain et s'échappe à l'extérieur par l'extrémité opposée au trou où l'adulte a déposé l'œuf. Les téguments deviennent bruns progressivement au contact de l'air pour donner au charançon sa couleur définitive. L'imago qui se trouve à l'extérieur du grain constitue par conséquent la "forme libre" (Fleurat-Lessard, 1982 ; Apert, 1985). Dans de bonnes conditions (28 à 30°C; 70% HR), le cycle complet dure environ un mois (Camara, 2009). (Figure 7).

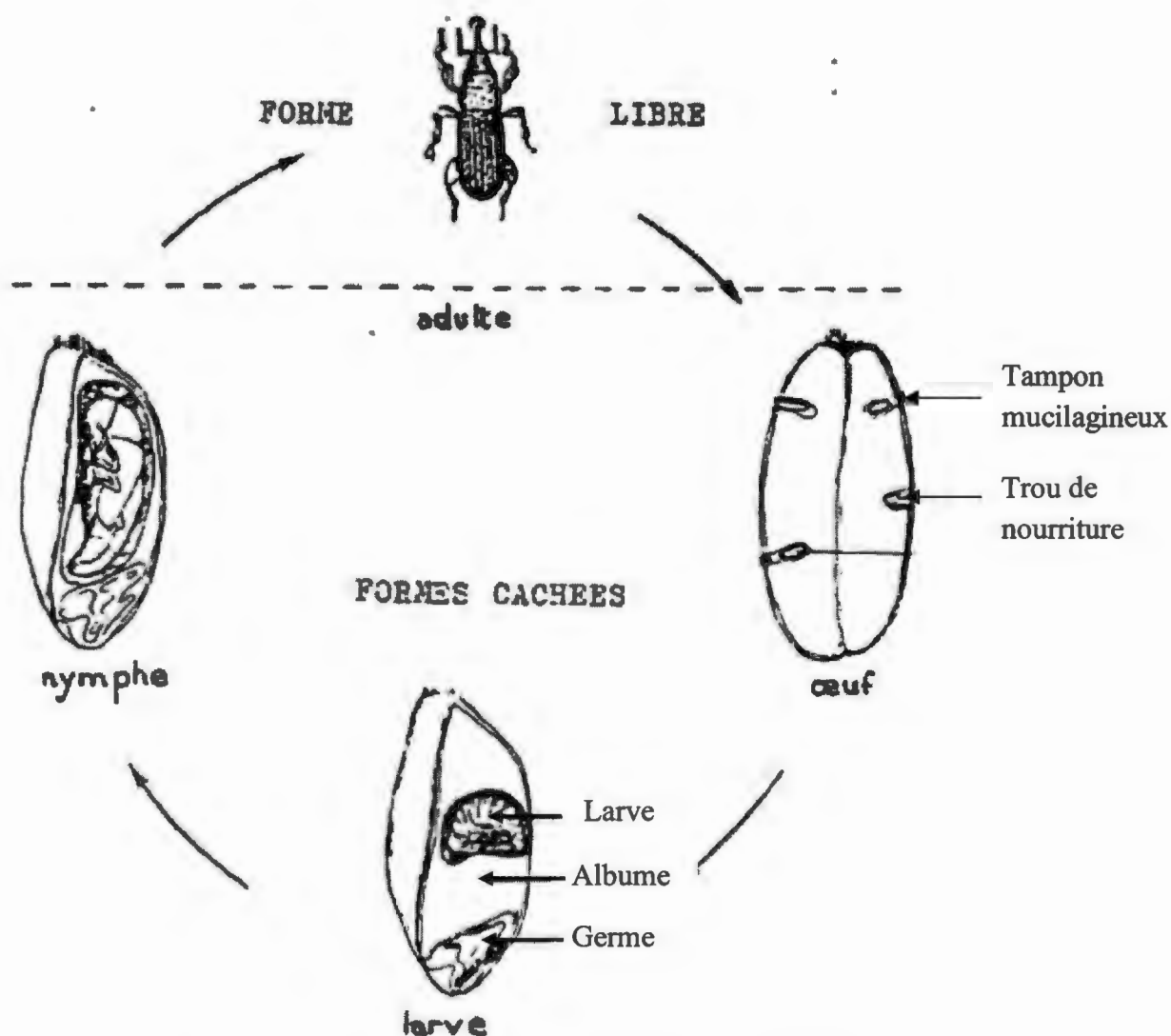


Figure 10 : Cycle de développement de *Sitophilus oryzae* Linn.

Source : Fleurat-Lessard, 1982.

I.3.5 Importance économique et Dégâts

Sitophilus oryzae est considéré comme l'une des espèces les plus nuisibles des stocks dans les pays tropicaux. Il cause aux diverses céréales entreposées, des dégâts jugés importants (Risbec, 1950 ; Farjan, 1983 ; Ratnadass, 1984 ; Yadi, 1987). D'après Hoffmann, (1954) et Borror *et al.* (1981), la larve ronge l'intérieur du grain, se développe et s'y nymphose (figure 10). Ce sont les orifices de sortie de l'adulte qui permettent de repérer l'infestation. Quand celle-ci est importante, il ne subsiste que la partie externe du grain avec ses perforations. Le charançon du riz représente un ravageur de premier plan pour les céréales emmagasinées sur lesquelles il provoque des pertes, une détérioration de la qualité et permet

l'installation d'infestations cryptogamiques. Les dégâts causés par *S. oryzae*, *S. zeamais* et *S. granarius* sont les mêmes, mais les deux derniers préfèrent les grains de plus grandes dimensions. Il n'est pas facile aussi de les distinguer à partir de leurs caractères morphologiques. *S. granarius* est pratiquement absent en région chaude.

En effet, parmi les insectes nuisibles des stocks, le charançon du riz, *Sitophilus oryzae*, est considéré comme l'ennemi le plus important des grains dans les régions chaudes (Champ et Dyte, 1976). L'importance relative du charançon du riz, *Sitophilus oryzae*, ainsi que son impact sur les stocks, nous ont amenée à choisir cet insecte.

I.4 LE RAVAGEUR *SITOPHILUS ZEAMAI*

Sitophilus zeamais ou le charançon du maïs est une espèce de charançon qui se trouve couramment dans les cultures de maïs. L'insecte se développe dans un grain particulier, il ronge de l'intérieur jusqu'à maturité. Le charançon du maïs est un danger pour les cultures et le maïs stocké.

I.4.1 Position systématique

Le charançon du maïs (maize weevil) a eu plusieurs appellations selon les auteurs : *Calandra zeamais* Motschulsky, 1855, *Calandra platensis* Zacher, 1922, *Sitophilus zeamais* (Motschulsky), 1961 qui a été longtemps considéré comme une forme de *Sitophilus oryzae* de grande taille (Delobel et Tran, 1993 ; Seck, 2009).

La position systématique actuelle de *Sitophilus zeamais* est la suivante :

Embranchement des Arthropodes,

Classe des Insectes,

Ordre des Coléoptères,

Famille des Curculionidae,

Sous-famille des Rhynchophorinae,

Tribu des Sitophilini,

Genre *Sitophilus*,

Espèce *Sitophilus zeamais* Motschulsky.

I.3.2 Description morphologique

L'adulte est de grande taille avec une couleur brun rouge foncé à noir avec deux taches claires sur chaque élytre (Delobel et Tran, 1993) (figure 11).

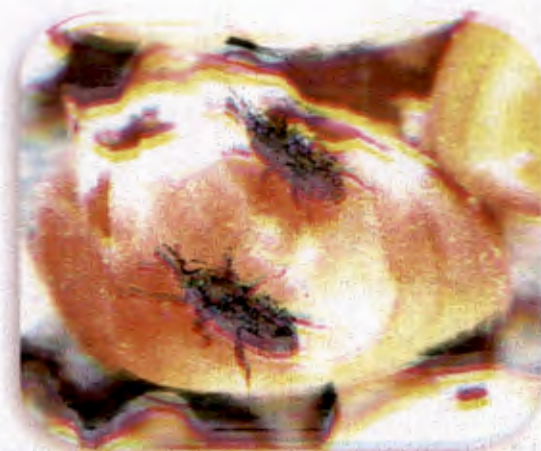


Echelle : 1mm

Figure 11 : *Sitophilus zeamais*

Source: http://www.google.sn/imgres?q=sitophilus+zeamais&hl=fr&rlz=1R2ACAW_frSN436&tbm=isch&tbnid=S6lgp58V4kBXWM:&imgrefurl

S. zeamais a un museau long, mince, et coudé. Il se reconnaît par la présence d'un rostre renflé triangulairement et portant les antennes à sa base. La larve blanche et charnue est apode et mesure de 2 à 4 mm. *S. zeamais* vole très peu et préfère les grains de grande taille comme le maïs (figure 12) (Seck, 1989 ; Camara, 2009).



Echelle : 1mm

Figure 12 : *Sitophilus zeamais* adultes sortant des grains de maïs

Source : <http://www.grainscanada.gc.ca/storage-entrepote/pip-irp/mw-cr-fra.htm>

I.3.3 Ecologie et Distribution géographique

S. zeamais Motschulsky., ou charançon du maïs vit dans les pays tropicaux et subtropicaux. Ses dégâts sont importants sur le maïs en Afrique, en Amérique Latine, en Chine, en Australie, aux Philippines, en Malaisie et en Birmanie. L'infestation initiale de grains de maïs survient au champ juste avant la récolte et les insectes sont entraînés dans le magasin où la population s'accumule rapidement (Appert, 1987; Adedire et Lajide, 2003). En effet, l'espèce est rencontrée dans les champs par temps chaud au moment de la maturation des grains. L'adulte peut parcourir plus de 800 mètres pour atteindre la plante hôte et il peut vivre cinq à huit mois. *S. zeamais* est cosmopolite et très répandu en Afrique sur le maïs. Il est aussi largement distribué dans les zones agricoles du nord de l'Australie. Cette espèce a également été enregistrée au Canada. Elle est, cependant observée dans la nature, aux États-Unis dans des fruits (Delobel et Tran, 1993). Ce charançon aux mœurs essentiellement nocturne, se montre plus actif la nuit que le jour. Il peut vivre en permanence dans l'obscurité complète, ses déplacements sont relativement rapides, il peut voler, d'où sa rapide dissémination dans un entrepôt (Steffan, 1978).

I.3.4 Biologie de la reproduction

Les adultes s'accouplent peu après leur sortie des grains, leur copulation dure 15 minutes à 1 h 30 min, se répète à maintes reprises au cours de leur existence (Lepesme, 1944). Les observations montrent que les femelles choisissent les grains avant de pondre. Elles pond de préférence dans le tiers apical du grain (Paulian, 1988 ; Delobel et Tran, 1993). Elles sont capables de déceler la présence d'un œuf ou d'une larve déjà en place dans un grain (Danho *et al.*, 2015). La femelle de *Sitophilus* tараude le grain et y dépose un œuf dans chaque trou, par la suite elle bouche le trou de ponte avec du mucus sécrété par l'oviducte qui durcit rapidement et laisse une petite zone surélevée sur la surface du grain. Ceci fournit la seule preuve visible que le grain est infesté (Danho et Haubruge, 2003). Une seule femelle peut pondre 300 à 500 œufs durant sa vie (Paulian, 1988) (figure 13 et 14).

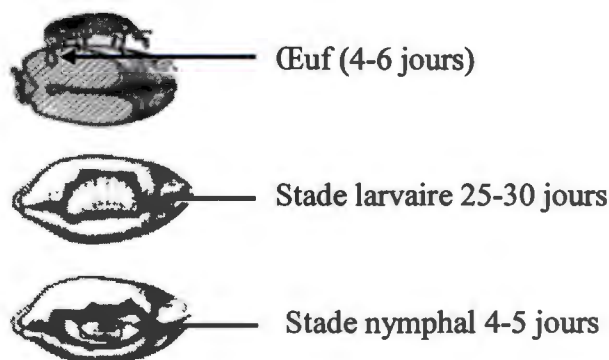


Figure 13 : Œuf, Larve et nymphe de *Sitophilus zeamais*

Source : <http://www.erails.net/FARA/aphlis/aphlis/quality-losses-review/annex-1---insect-pests-of-cereal-grains>

Le cycle de développement de *Sitophilus zeamais* comporte quatre stades : œuf, larve, nymphe et imago.

➤ **L'œuf**

Il est ovale ou piriforme, sa couleur est d'un blanc opaque et brillant. Il mesure 0,6 à 0,7 mm de longueur et 0,2 à 0,3 mm de largeur (Steffan, 1978). L'œuf porte une protubérance à son extrémité qui lui permet de se fixer au substrat, elle se trouve à l'intérieur des trous de ponte (figure13).

➤ **La larve**

A l'éclosion qui survient quelques jours plus tard, la larve néonate se nourrit du grain, elle produit une poudre blanchâtre abondante qui rend le maïs impropre à la consommation (Philogène *et al.*, 1989). La larve est blanche, globuleuse, molle, charnue et sans patte. Au terme de son développement, elle mesure 2,5 à 3 mm de long. Le nombre des mues est à la fois constant et peu élevé de 3 à 4 stades larvaires (Appert et Deuse, 1982) (figures 13 et 14). La larve du dernier stade aménage une sorte de chambre de nymphose où elle passe d'abord par un stade pré nymphe qui dure de 20 à 50 heures avant de se transformer en nymphe.

➤ La nymphe

La nymphe de forme cylindrique, mesure 3,75 à 4 mm de long, sa couleur passe du blanc au brun à mesure qu'elle évolue. Elle subit la mélanisation et la sclérotinisation de la cuticule. Elle a presque la taille de l'imago (Lepesme, 1944) (figure 13).

➤ L'imago

La nymphose a lieu également dans le grain et il en sort un adulte parfait (Seck, 1989). L'imago est un petit coléoptère de 2,5 à 5 mm de longueur, caractérisé principalement par deux grosses taches ocre sur chaque élytre, le rostre moins long que le pronotum, est peu arqué et cylindrique dans sa partie antérieure (Camara, 2009) (figure 13).

Le temps de développement complet de *Sitophilus zeamais* est en moyenne 36 jours avec une température située entre 27 et 31 °C et 70% d'humidité relative (Delobel et Tran, 1993) ; mais un temps froid le prolongera considérablement. Le mâle est plus actif que la femelle et ces dernières peuvent vivre plusieurs mois. Aussi, d'après Steffan, (1978) une température de 28°C et une humidité relative de 70% sont considérées comme étant optimales pour la croissance. Le développement peut commencer à partir d'une teneur en eau du grain supérieure à 9 %. Dans ces conditions la durée de cycle de développement est de 25 jours. Leur longévité peut dépasser 4 mois (Camara, 2009).



Echelle : 1mm

Figure 14 : Cycle de développement de *Sitophilus zeamais* (1 : Œuf ; 2 : Larve ; 3 : Nymphe ; 4 : Trou de sorti de l'adulte ; 5 : Adulte de *Sitophilus zeamais* ; Maïs infesté par *Sitophilus zeamais*)

Source : NSW Agriculture, <http://www.agric.nsw.gov.au/Hort/ascu/zeck/zeck187.htm>

I.3.5 Importance économique et Dégâts

Les charançons représentent des ravageurs de premier plan pour les céréales emmagasinées sur lesquelles ils provoquent des pertes pondérales, une détérioration de la qualité et permettent l'installation d'infections cryptogamiques (Appert, 1985). Leur plat de prédilection est constitué par les grains de blé, d'orge, de maïs et de riz. Parfois même ils fréquentent le millet, les châtaignes, les patates séchées, les figes sèches, le tabac en feuilles ou manufacturé (Delobel et Tran, 1993).

Par ailleurs, de nombreux parasites mettent un frein aux dommages causés par ces charançons, en s'attaquant à leurs larves et nymphes. Les plus communs sont des Hyménoptères de la famille des Pteromalides: *Chaetospila ellgane* westwood, *Aplastomorpha calandrae* et surtout *Lariophagus distinguendus* Fostr. De même certains Bethylides tels que : *Cephalonomia tarsalis* ainsi qu'un acarien *Pediculoides ventricosus* Nemp. qui est considéré comme un précieux auxiliaire.

I.5 LE RAVAGEUR *TRIBOLIUM CASTANEUM*

Tribolium castaneum Herbst décrit par Johann Friedrich Herbst, 1797 est un ravageur des denrées stockées, surtout connu dans les régions tropicales et subtropicales. L'insecte est considéré comme un ravageur secondaire strict causant d'importants dégâts sur les stocks de mil battu dans toute la zone sahélienne.

I.4.1 Position systématique

Les tenebrionidae sont des coléoptères de taille comprise entre 2 mm et 80 mm, de forme très varié, à téguments le plus souvent rigides, épais, noir mat ou luisant, de teinte sombre, coloré ou «métallique» par interférence, avec des yeux généralement grands, ovales ou ronds chez certaines sous-familles. Antennes de 11 articles, plus rarement 10, ils sont aptères ou ailées, avec nervation alaire du type primitif, 5 sternites abdominaux, pattes longues ou tout au contraire, contractées, souvent fousseuses (Balachowsky, 1962).

Selon Lapesme, (1944) la position systématique de *Tribolium castaneum* (Herbst) ou Tribolium rouge de farine ou petit ver de la farine est la suivante :

Embranchement des Arthropodes,

Classe des Insectes,

Ordre des Coléoptères,

Sous Ordre des Polyphaga,

Famille des Ténébrionidés,

Genre Tribolium,

Espèce *Tribolium castaneum* Herbst.

I.5.2 Description morphologique

Le *Tribolium castaneum* Herbst (Coleoptera : Tenebrionidae) est un insecte de couleur uniformément brun rougeâtre (figure 15) et l'adulte mesure 2 à 4 mm (Bonneton, 2010).



Echelle : 1mm

Figure 15: *Tribolium castaneum*

Source: <http://it.wikipedia.org/wiki/File:Tribolium.castaneum.jpg>

Les trois derniers articles des antennes sont brusquement plus élargis que les huit premiers et forment une massue terminale (Camara, 2009). L'adulte est étroit, allongé, à bord parallèles, à pronotum presque aussi large que les élytres et non rebordé antérieurement. Les yeux plus nettement divisés en plus de 2 parties distinctes à l'extrémité. Il y a un dimorphisme sexuel. Chez le mâle, un tubercule pilifère arrondi s'observe à la base du fémur antérieur qui est absent chez la femelle. Les stries des élytres sont interrompues avant l'extrémité contrairement à la femelle dont les stries 4 - 6 et 7 - 3 se rejoignent à l'apex (Delobel et Tran, 1993).

I.5.3 Origine et distribution géographique

Tribolium castaneum (Herbst) vivait dans des grains secs de diverses Poaceae et par extension dans la farine. D'origine tropicale, asiatique il a été introduit dans le monde entier et constitue maintenant une peste des denrées stockées. Il est trouvé dans des secteurs tempérés, mais survit en hiver dans les endroits protégés, particulièrement où il y a de la chaleur centrale (Tripathi *et al.*, 2001). C'est une espèce cosmopolite, elle est rencontrée en Asie du Sud sous l'écorce des arbres mais également en Afrique du Sud (Bonneton, 2010). En Afrique le *Tribolium* a une distribution différente de ce qui se produit dans le monde entier dans les climats les plus frais (Smith et Whitman, 1992).

I.4.4 Biologie de la reproduction

C'est une espèce dont l'optimum thermique se situe entre 35 et 38°C, son développement cessant au-dessous de 22°C et qui résiste très bien aux basses hygrométries (Delobel et Tran, 1993). Chez *T. castaneum* très peu de temps s'écoule entre l'émergence d'une femelle et sa première ponte. Le premier accouplement a lieu environ 2 jours après l'émergence des imagos et dure 3 à 15 minutes (Lepesme, 1944). Chez *Tribolium* l'échelonnement des pontes est conditionné par plusieurs copulations. Son cycle de développement comporte quatre stades : œuf, larve, nymphe et adulte.

➤ L'œuf

Dès l'âge de trois jours, la femelle pond quotidiennement une dizaine d'œufs (figure 16A). Elle peut pondre jusqu'à 500 œufs (Bonneton, 2010). L'œuf est oblong et blanchâtre, presque transparent surface lisse recouverte d'une substance visqueuse qui lui permet d'adhérer à la denrée infestée, il mesure en moyenne 0.6 x 0.3 mm (Lepesme, 1944). Les œufs sont déposés en vrac sur les grains, ils sont difficiles à déceler et éclosent entre 5 à 12 jours (Paliwal, 2002).

➤ La larve

L'éclosion de l'œuf donne naissance à une larve neonate de couleur blanche. Les larves sont minces, actives et ont environ 5mm de long. Elles ont six pattes thoraciques et un appendice fourchu distinctif à l'extrémité de l'abdomen (Paliwal, 2002). On observe

cinq à huit stades larvaires dans les conditions optimales de développement, mais jusqu'à treize lorsque les conditions sont défavorables. La larve est environ huit fois plus longue que large, d'un jaune très pâle à maturité, avec latéralement quelques courtes soies jaunes et un corps presque glabre (Delobel et Tran, 1993). Les larves circulent librement dans les denrées infestées et s'y nymphosent sans cocon. À 30°C, la vie larvaire dure à peu près trois semaines (figure 16B).

➤ **La nymphe**

A la fin du dernier stade larvaire, la larve s'immobilise, cesse de se nourrir et se transforme en nymphe immobile (figure 16C). La nymphe se retrouve nue dans le même aliment que la larve. Les segments de son abdomen sont explantés latéralement en lames rectangulaires à bords crénelés (Balachowsky, 1936). Elle est blanche au départ mais sa couleur s'assombrit graduellement avant de devenir adulte. L'adulte émerge de la nymphe six jours après sa formation (Delobel et Tran, 1993).

➤ **L'adulte**

L'imago est d'un blanc jaunâtre, son tégument se sclérotinise et se pigmente après son émergence. Sa couleur devient brun rouge, sa taille atteint 3 à 4 mm. Ces élytres allongés, parallèles et arrondis à l'extrémité postérieure, portent des lignes régulières de ponctuation séparées par des cotés très fins (Lepesme, 1944 ; Delobel et Tran, 1993). Les pattes sont courbées, les tarses postérieurs sont formés de quatre articles. *T. castaneum* se distingue de l'espèce voisine *T. confusum* par les caractères suivants : trois derniers articles des antennes nettement plus gros que les précédents formant une massue distincte, absence de crête au-dessus de l'œil. Ainsi, chez les adultes de *T. castaneum*, les yeux sont ovales, ils sont séparés ventralement par une distance à peu près égale à leur propre largeur en vue ventrale. La cuticule de la tête et du pronotum micro-réticulée, paraissant terne entre les points. Au moins l'un des inter-stries, quatre à huit est fortement caréné sur toute sa longueur (Lepesme, 1944) (figure 16D).

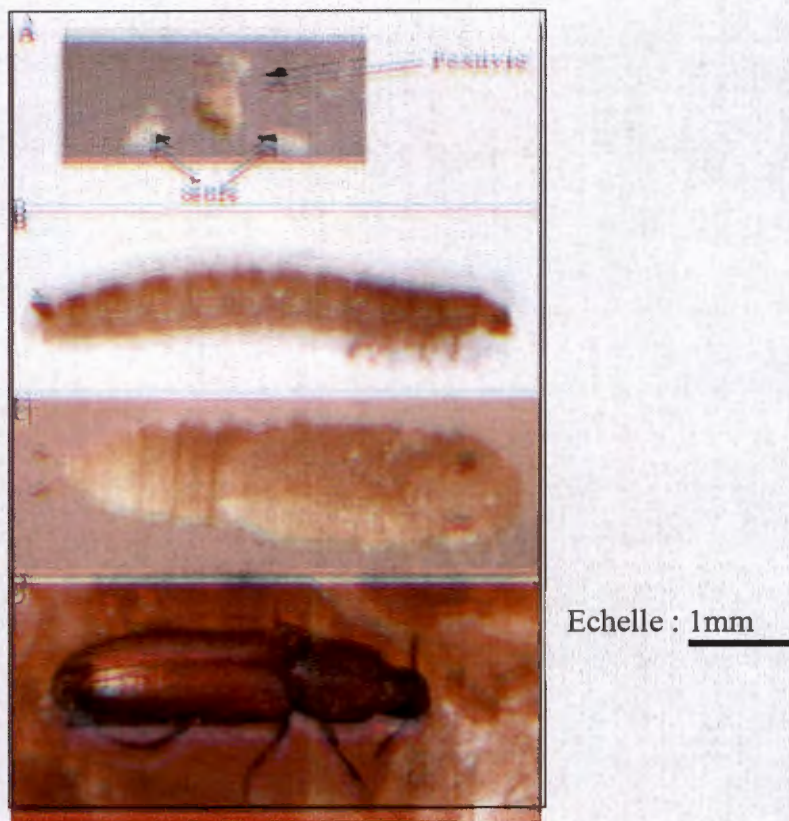


Figure 16: Œuf (A), Larve (B), Nymph(C) et Adulte (D) de *T. castaneum*

Source : Walter, 2002

Adultes et larves sont capables de cannibalisme vis-à-vis des œufs et des nymphes (Delobel et Tran, 1993). Ils peuvent se nourrir de champignons qui pourraient envahir le stock et d'une infinie variété de matières végétales sèches et sont toujours présents dans les stocks (Camara, 2009). C'est un insecte qui affectionne les farines dans lesquelles il creuse des galeries. En cas de forte infestation, l'adulte libère des substances quinoléiques qui confèrent une odeur âcre et rend la panification difficile (Seck, 1994). *Tribolium castaneum* est caractérisé par une très grande polyphagie (Bonneton, 2010) et s'attaque au riz, blé, son, farine de riz, de blé, maïs, orge, sorgho, millet, manioc, tapioca, farine de manioc, sagou, igname, fruits séchés, toutes légumineuses sous forme de farine, arachide, coprah, graines de coton, ricin, cabosses de cacao, chocolat, noix de muscade, poivre, gingembre ... (Delobel et Tran, 1993).

La durée du cycle de développement de *T. castaneum* est environ un mois (Camara, 2009). Mais selon le régime alimentaire, le cycle peut atteindre 120 jours à des températures comprises entre 35 et 38°C. Il se reproduit généralement dans les grains endommagés, de haute humidité. L'adulte, très bon voilier se déplace en fin d'après-midi par temps chaud et

calme. La longévité de l'insecte est de 2 à 8 mois suivant les conditions abiotiques (Delobel et Tran, 1993).

I.5.5 Dégâts et importance économique

Le *Tribolium* recherche surtout les denrées amylacées pulvérulentes comme la farine, le son, ... *etc.* (Lepesme, 1944 ; Delobel et Tran, 1993). C'est un parasite important de grains de céréales endommagés et de leurs produits transformés. *T. castaneum* s'attaque aussi bien au mil qu'au maïs et aux légumineuses. Son régime alimentaire (psychophage, mycophage, nécrophage et prédateur), sa fécondité, sa capacité de dispersion et sa résistance aux pesticides en font un des ravageurs des denrées entreposées les plus redoutables au niveau mondial (Seck, 1994 ; Delobel et Tran, 1993). En plus, d'après Steffan, (1978) les *T. castaneum* sont des cléthrophages secondaires, car ses larves et ses adultes se nourrissent surtout de brisures, elles attaquent les grains endommagés, escortent souvent les charançons ou parachèvent leurs dégâts.

Par ailleurs, certains arthropodes particulièrement les acariens, tels que : *Pediculoides ventricosus* Nemp. *Acarophenax tribolu* Nemp. tendent à limiter l'activité de *Tribolium* ; deux hyménoptères de la famille des bethylides parasitant les larves sont : *Rhabdepyris zea* Turu et Waterst. *Sleroderma immigrans* Bridw.

**Chapitre II : Etude des paramètres
biodémographiques de *Sitophilus oryzae* L.
(Coleoptera Curculionidae) issus du Mil et de
Sitophilus zeamais M. (Coleoptera Curculionidae)
provenant du Maïs dans le Maïs Entier,
Décortique, Brisé et Farine**

INTRODUCTION

Les céréales représentent pour nombre de pays en développement, l'essentiel du régime alimentaire des populations rurales généralement à faibles revenus (Gueye *et al.*, 2011).

Au Sénégal en particulier, le maïs (*Zea mays* L.) est la deuxième céréale majeure. La production nationale totale de maïs qui était de 864,698 t en 2005/2006 est passée à 1, 205,200 t en 2010, soit une augmentation de 39,38%. Cette production est consommée progressivement au cours de l'année après stockage sous diverses formes (Gueye *et al.*, 2012). Le maïs est beaucoup consommé dans la vallée du fleuve Sénégal, dans le Sud et l'Est du pays, Kolda et Kédougou notamment où il est consommé par une bonne partie de la population (ITA, 2008). En effet, le maïs est une céréale importante dans l'alimentation humaine et ceci se justifie entre autres par sa bonne digestibilité de sa matière organique et sa valeur énergétique relativement élevée. Le contenu calorique moyen de tout repas à base de maïs est estimé à 3578 calories par kilogramme (FAO, 2003). Il contient également des protéines (8 à 11%), des fibres alimentaires, des vitamines (A et E) et des sels minéraux (P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Cu, Mn, Zn) (FAO, 1993). Le maïs est aussi utilisé dans l'alimentation animale. En 2000, 65% de la production mondiale était destinée pour la nourriture du bétail (FAO, 2003).

Cependant, ces récoltes, conservées en général dans des conditions inadéquates, sont attaquées par des insectes, des rongeurs et des moisissures. La cause majeure des pertes dans les stocks est attribuée aux insectes et parmi les très nombreuses espèces d'insectes qui s'attaquent aux denrées alimentaires, certaines sont spécifiques au stock alors que d'autres peuvent infester les produits depuis le champ (ILO-WEP, 1986). En effet, les insectes ravageurs des stocks de maïs sont nombreux mais certaines espèces de Coléoptères (Bruchidae et Curculionidae) notamment *Sitophilus zeamais* Motchulsky s'attaquent aux grains. Si aucune protection n'est faite, après sept mois de stockage, la perte des denrées peut être totale (Ngamo et Hance, 2007).

Le genre *Sitophilus* est uniquement inféodé aux céréales qu'il contamine généralement dans les stocks. Il se reconnaît par la présence d'un rostre renflé triangulairement et portant les antennes à sa base. Parmi les trois espèces du genre *Sitophilus*, seules deux (*S. zeamais* et *S. oryzae*) sont présentes dans les régions tropicales (Seck, 2009). *S. zeamais* et *S. oryzae* se

multiplient dans les graines sèches et causent beaucoup de dommages aux stocks. La femelle pond à l'intérieur du grain, le développement de la larve de *Sitophilus* se fait de façon endogène jusqu'à l'émergence de l'adulte (Danho et Haubruge, 2003 ; Seck, 2009). La larve blanche et charnue est apode et mesure de 2 à 4 mm. La durée des quatre stades larvaires est d'environ 20 jours. Ceci est suivi d'une nymphe (6 - 7 jours) et d'un stade pré adulte (5 - 6 jours) qui restent dans le grain (Paliwal, 2002). L'adulte de *Sitophilus* est un charançon de 2,3 à 4,5 mm de long qui se distingue par quatre taches rougeâtres sur les élytres (Delobel & Tran, 1993).

Longtemps considéré comme une forme de *S. oryzae* de grande taille, *S. zeamais* se distingue néanmoins de ce dernier. Certains auteurs (Kranz *et al.*, 1977 in Seck, 2009) ont proposé des critères d'ordre éthologique pour les différencier. *Sitophilus oryzae* (2 à 5 mm) est un bon voilier, capable d'attaquer les céréales stockées depuis le champ. Il a une préférence pour les grains de petite taille comme le riz et le mil. Au contraire, *S. zeamais* (3 à 4 mm) vole très peu et préfère les graines de grande taille comme le maïs.

Ainsi, l'entreposage du maïs avant sa consommation ou sa transformation se fait souvent dans des conditions qui favorisent la prolifération de déprédateurs qui non seulement en détruisent une grande partie mais rendent également les grains non attaqués peu comestibles (Philogène *et al.*, 1989).

Dans le souci de pallier aux pertes dues au genre *Sitophilus*, une connaissance de base de la biologie est une condition préalable pour désigner des méthodes de contrôle efficaces. Afin de comprendre cette biologie, une solide connaissance sur sa réponse aux effets des facteurs environnementaux et biologiques est essentielle. Des études antérieures ont montré que la larve de *Sitophilus oryzae* consommerait 10 mg de grains pendant son développement alors que l'adulte consommerait 0,49 mg par jour (Kehe, 1975 ; Fleurat-Lessard, 1984 ; Yadi, 1987). Aussi, Il y a eu de nombreuses études sur la biologie et le comportement des espèces de *Sitophilus*, principalement sur *S. granarius* et *S. oryzae* qui ont été régulièrement examinées par de nombreux auteurs (Richards, 1947 ; Segrove, 1951 ; Longstaff, 1981). Le comportement de ponte varie en fonction des espèces d'insectes, de la densité de la population, des conditions environnementales, de la nourriture, de l'âge et la taille des individus (Stejskal et Kucerova, 1996). Certaines études sur la dynamique des populations ont été menées en faisant varier le nombre de grains de maïs (Schoonhoven *et al.*, 1976 ; Widstrom *et al.*, 1978 ; Danho et Haubruge, 2003) ou le nombre de charançons, ou les

deux (Dobie, 1974 ; Widstrom *et al.*, 1978). Les études de Gueye *et al.* (2012), ont montré que la température ambiante, l'humidité relative de l'air et le type de nourriture (grain entier et farine) ont un effet sur la durée du cycle de développement de *S. zeamais*. Ainsi, une compréhension de la biologie et du comportement du charançon de maïs par rapport aux différentes formulations du maïs, aidera dans le développement des pratiques de gestion améliorées pour le contrôle de ce ravageur. Toutefois, peu de données récentes dans la littérature décrivent l'impact des variations du substrat sur les caractères biodémographiques (le nombre d'adultes, le poids, le sex-ratio des descendants, la durée de développement, *etc.*) de *S. zeamais* et *S. oryzae*.

L'objectif de cette étude est de déterminer les paramètres biodémographiques de *S. oryzae* et *S. zeamais* dans le but de mettre au point des techniques de protection intégrée des stocks de maïs dans le respect de l'environnement. Il s'agira alors de faire des infestations contrôlées de *Sitophilus zeamais* provenant du maïs et de *Sitophilus oryzae* provenant du mil, sur le maïs dans ses différents états (entier, décortiqué, brisé et farine). Aussi faire des comparaisons de ces paramètres biodémographiques.

II.1 MATERIEL ET METHODES

II.1.1 Elevage de masse et choix des couples

Les souches de *S. oryzae* et *S. zeamais* utilisées ont été mises en élevage à l'insectarium de l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD). Plusieurs générations ont été obtenues à partir des techniques d'élevage de masse. Les élevages de masse ont été réalisés dans des bocaux en verre remplis de grains de maïs ou de mil dans lesquels étaient ajoutés des adultes de *S. oryzae* pour le mil et *S. zeamais* pour le maïs, d'âges et de sexes indéterminés (figure 17).



Figure 17 : Elevage de masse de *Sitophilus zeamais*

Après une ou deux semaines d'infestation, les adultes sont retirés des grains par tamisage. Les grains infestés sont laissés en incubation dans la salle d'expérimentation jusqu'à l'apparition des nouveaux adultes. Les adultes utilisés ont été obtenus à partir de ces élevages de masse. Ces adultes ont été placés dans des boîtes de Pétri pendant deux jours au plus pour s'assurer que la ponte a commencé. Chez *Sitophilus oryzae* et *Sitophilus zeamais*, le mâle se distingue de la femelle par un rostre plus épais, plus court et plus profondément ponctué ; aussi, les derniers sternites abdominaux sont plus courbés ventralement chez le mâle que chez la

femelle (Lepesme, 1944). Ainsi, après sexage, les couples sont placés dans les boîtes de Pétri de 9cm de diamètre et 1,5cm de hauteur contenant la céréale à infester (figure 18).

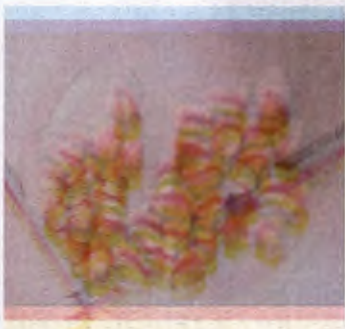
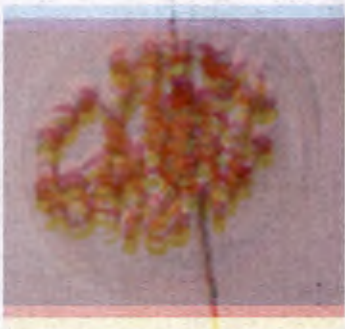
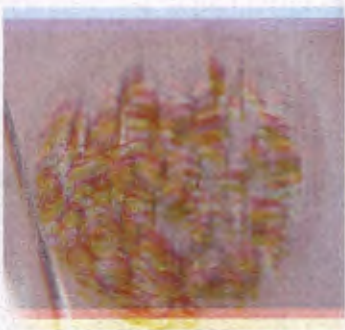


Figure 18 : boîte de Pétri contenant du maïs entier à infester

II.1.2 Préparation des substrats

Le matériel végétal utilisé, comme substrat au cours des expérimentations, est constitué de grains de maïs. Le maïs a été d'abord gardé au congélateur pendant 72 heures. Après un rééquilibrage à la température ambiante du laboratoire pendant 24 heures, les grains ont été séchés au soleil pendant 8 heures. Avec ce maïs quatre types de substrats sont préparés : un substrat à base de grains entiers (non décortiqués), un à base de grains décortiqués, un avec des grains brisés et le dernier avec de la farine en poids respectivement (10g) (tableau 1).

Tableau 1 : Morphologies et Caractéristiques des différents substrats du maïs

Substrats	Morphologies	Caractéristiques
Maïs entier		Non décortiqué, le Son et le Germe sont intacts
Maïs décortiqué		Le Son et une partie du germe sont éliminés
Maïs brisé		Non décortiqué, brisé à 50%
Farine de maïs		Décortiqué, puis réduit en particule fine après mouture

II.1.3 Développement de *Sitophilus* sur les quatre substrats du maïs

On dispose de 20 boîtes numérotées de 1 à 20 pour chaque substrat du maïs (entier, décortiqué, brisé et farine) et correspondant à 20 répétitions. 10 grammes de chaque substrat sont utilisés par répétition afin d'offrir aux insectes une surface de ponte sensiblement identique. Chaque boîte est infestée par un couple de *S. zeamais* provenant du maïs d'une part et un couple de *S. oryzae* issu du mil d'autre part ; âgés de trois jours au moins et de 10 jours au plus. Chaque couple est utilisé pour infester une boîte. Le couple passent 24h dans chaque boîte avant d'être retiré. Les boîtes sont ensuite placées dans la salle d'expérimentation (figure 19).

L'étude du développement de *Sitophilus zeamais* et *Sitophilus oryzae* dans les quatre états du maïs, est réalisée à une humidité relative variant entre 41 - 67% et à des températures oscillant entre 28,5 - 31°C.



Figure 19: boîtes de Maïs entier et de farine de Maïs infestées par *Sitophilus zeamais*

A la fin du développement, l'observation des émergences commence à la troisième semaine et s'effectue chaque jour. Le nombre total d'insectes par boîte et par jour est compté et chaque individu est ensuite pesé moins de 24 heures après son émergence à l'aide d'une balance Sartorius (S.A. Sartorius instruments) de grande précision (charge maximale = 120 g, $d = 0,1$ mg) (figure 20).



Figure 20: Balance de pesage des insectes

A l'issu de ces expériences, les paramètres biodémographiques suivants sont déterminés :

- ❖ **Cinétique d'apparition des adultes ;**
- ❖ **Nombre d'adultes** qui correspond au nombre total des adultes émergés (Annexes III à X) ;
- ❖ **La durée moyenne de développement** : Chez les Coléoptères, la ponte est étalée et dure presque toute la vie de l'adulte. La durée de développement s'étend de la ponte à l'émergence des adultes (Annexes III à X);
- ❖ **Le Poids (P)** : le poids moyen est obtenu en divisant la somme des poids individuels par le nombre d'individus (Annexes III à X) ;
- ❖ **Le sex-ratio (R)** qui donne le pourcentage des femelles comparativement à l'ensemble des descendants. Si le sex-ratio est supérieur à 50% alors le sex-ratio est en faveur des femelles dans le cas contraire il est en faveur des mâles (Annexe XI).

Toutes ces données sont régulièrement notées sur des fiches préparées à cet effet (Annexe I et II).

II.1.4 Analyses statistiques

Les résultats exprimés sous forme de tableaux ou de graphiques ont été construits en utilisant le logiciel Excel version 14.0.7140.5002 (32bits). Les analyses statistiques ont été effectuées avec le logiciel XLSTAT version 6.1.9. Les données brutes ont été soumises à une analyse de la variance (ANOVA), les moyennes ($\pm$ écartype) sont comparées grâce au test de comparaisons multiples de Kruskal Wallis, et le test t de Student a été utilisé pour la comparaison deux à deux des moyennes. Les valeurs de p inférieures à 0.05 sont considérées comme significatives.

II.2 RESULTATS ET DISCUSSION

II.2.1 Résultats

II.2.1.1 Paramètres biodémographiques de *S. zeamais* sur les quatre substrats

II.2.1.1.1 Cinétique d'émergence des adultes

L'analyse de la figure 21 montre que le rythme d'émergence des adultes de *Sitophilus zeamais* sur les différents supports alimentaires (maïs entier, maïs décortiqué, maïs brisé et farine de maïs) se fait de manière discontinue durant les 15 jours d'observation.

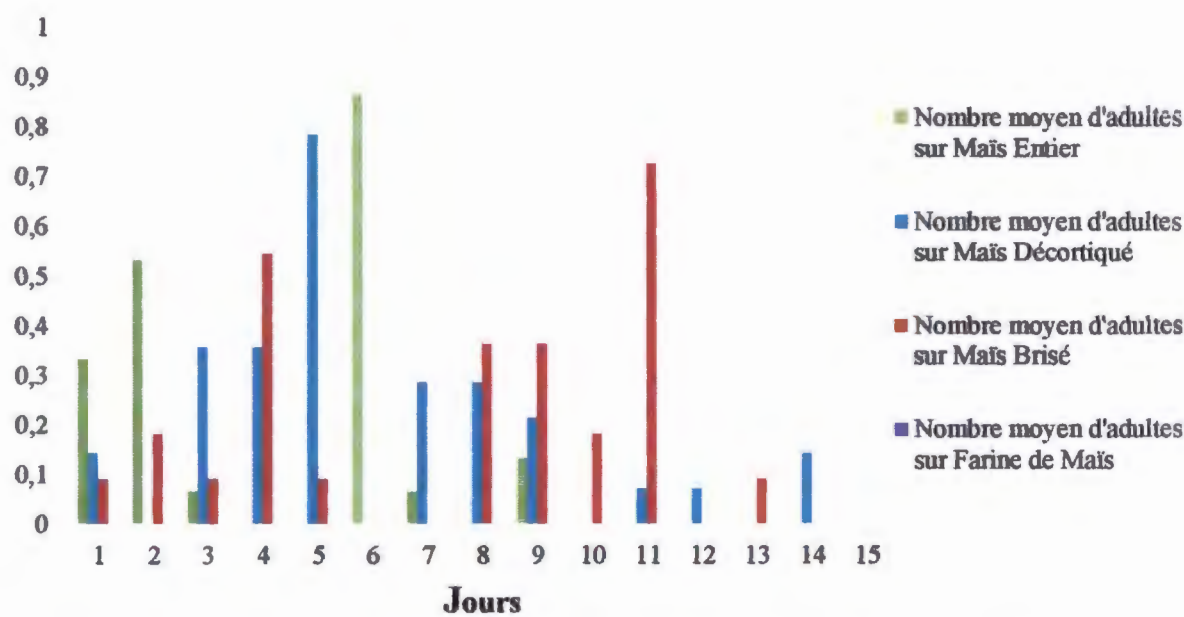


Figure 21 : Cinétique d'émergence des adultes de *Sitophilus zeamais* sur les quatre états du maïs en fonction des jours

A la première journée d'observation, le nombre moyen d'adultes émergés est plus important dans le maïs entier (0,33) que le maïs décortiqué (0,14) et le maïs brisé (0,09).

Il n'y a pas eu d'émergence d'adulte au deuxième jour dans le maïs décortiqué. En revanche, dans le maïs entier, le nombre moyen d'adultes émergés a augmenté (0,53) par rapport au premier jour. Ce nombre moyen a aussi augmenté dans le maïs brisé (0,18).

Le nombre moyen d'adultes émergés est plus important dans le maïs décortiqué à la troisième journée d'observation allant jusqu'à 0,36. Cette moyenne diminue dans le maïs brisé (0,09) et le maïs entier (0,07) par rapport au deuxième jour.

A la quatrième journée, le nombre moyen d'adultes émergés a augmenté dans le maïs brisé (0,55) et dans le maïs décortiqué, cette moyenne est restée la même (0,36).

Il n'y a pas eu d'émergences d'adultes dans le maïs entier au cinquième jour où le nombre moyen d'adultes émergés est plus important dans le maïs décortiqué (0,79) que dans le maïs brisé (0,09).

Le nombre moyen d'adultes émergés le plus important dans le maïs entier a été noté au sixième jour allant jusqu'à 0,87. Ce nombre diminue dans le maïs entier au septième jour (0,07). En plus, une augmentation du nombre moyen d'adultes dans le maïs décortiqué a aussi été noté allant jusqu'à 0,29 par rapport au sixième jour où il n'y avait pas eu d'émergences d'adultes.

A la huitième journée d'observation, le nombre moyen d'adultes émergés a augmenté dans le maïs brisé (0,36) par rapport à la sixième et septième journée d'observation où il n'y avait pas eu d'émergences. Ce nombre est resté le même par rapport au septième jour dans le maïs décortiqué (0,29).

Le nombre moyen d'adultes émergés au neuvième jour n'a pas évolué dans le maïs brisé (0,36). Ce nombre a légèrement diminué dans le maïs décortiqué (0,21) et le maïs entier (0,13). Il faut noter qu'au dixième jour, il n'y a eu émergence que dans le maïs brisé avec un nombre moyen d'adultes émergés de 0,18.

Au onzième jour d'observation, il y a une augmentation du nombre moyen d'adultes émergés dans le maïs brisé (0,73) par rapport au dixième. Ce nombre reste le même dans le maïs décortiqué (0,07) jusqu'au douzième jour.

Le nombre moyen d'adultes émergés diminue dans le maïs brisé allant jusqu'à 0,09 au treizième jour. Il est de 0,14 dans le maïs décortiqué au quatorzième jour et il n'y a pas eu d'émergence dans le maïs entier et décortiqué.

Il faut noter qu'il n'y a pas eu d'émergences d'adultes dans la farine de maïs même après 15 jours d'observation.

II.2.1.1.2 Durée moyenne de développement

Les paramètres biodémographiques observés varient en fonction des différents substrats du maïs (entier, décortiqué, brisé et farine).

La durée moyenne de développement est de $30,23 \pm 2,29$ jours dans le maïs entier ; $26,07 \pm 2,23$ jours dans le maïs décortiqué et $47,45 \pm 5,52$ jours dans le maïs brisé. Il n'y a pas eu de développement de *S. zeamais* sur la farine de maïs. Même après cinq jours d'infestation, aucun développement n'a été observé. Ainsi, les paramètres biodémographiques ne sont pas déterminés.

Ces résultats sont consignés dans le tableau 2.

Tableau 2: Paramètres biodémographiques de *Sitophilus zeamais* sur les quatre substrats du maïs à 28,5 - 31°C et 41 - 67% H.R.

	Maïs Entier	Maïs Décortiqué	Maïs Brisé	Farine de Maïs
Durée moyenne de Développement (jours)	30,23 ± 2,29	26,07 ± 2,23	47,45 ± 5,52	0
Nombre d'adultes	29	38	55	0
Poids moyen (mg)	2,63 ± 0,29	2,55 ± 0,36	2,23 ± 0,19	0
Sex-Ratio (%)	34,48	34,12	34,55	0,00

En outre, les résultats de l'analyse de variance avec un intervalle de confiance à 95% pour les durées moyennes de développement en fonction des différents substrats, révèlent l'absence d'une différence significative entre les *S. zeamais* qui se sont développés dans le maïs entier, décortiqué et brisé ($F = 0,99 > 0,05$). Ces données sont représentées dans le tableau 3.

Tableau 3 : Analyse des différences entre les groupes avec un intervalle de confiance à 95 %

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Valeur critique pour F
Entre Groupes	619,5583333	2	309,779167	0,9879274	3,158842719
A l'intérieur des groupes	17873,1875	57	313,564693		
Total	18492,74583	59			

La comparaison deux à deux des durées moyennes de développement par le test t de Student (tableau 4) montre que la différence des durées moyennes de développement n'est pas significative au seuil de risque $\alpha = 0,05$ entre les populations de *S. zeamais* ayant bouclé leur cycle dans le maïs entier et celles ayant évolué dans le maïs décortiqué ($p = 0,17 > 0,05$) ; de même qu'entre le maïs entier et le maïs brisé ($p = 0,60 > 0,05$). Ces mêmes résultats sont retrouvés entre le maïs décortiqué et le maïs brisé ($p = 0,20 > 0,05$).

Tableau 4 : Comparaison des durées moyennes de développement de *Sitophilus zeamais* sur les différents supports alimentaires.

	Maïs entier	Maïs décortiqué	Maïs brisé
Maïs entier	-	P = 0,17	P = 0,60
Maïs décortiqué	-	-	P = 0,20
Maïs brisé	-	-	-

II.2.1.1.3 Nombre d'adultes

Le nombre d'adultes émergés est plus important dans le maïs brisé (55 adultes). Sur le maïs décortiqué, il y a eu 38 adultes et dans le maïs entier, 29 adultes ont émergé (tableau 2). Aussi, il faut rappeler qu'il n'y a pas eu de développement de *S. zeamais* sur la farine de maïs. Ainsi, même après 15 jours d'observation, aucune émergence d'adultes n'a été observée.

II.2.1.1.4 Poids moyen des adultes

Les insectes qui émergent dans chaque substrat sont pesés individuellement 24h après leur sortie. Nos résultats indiquent que le poids moyen est de $2,63 \pm 0,29$ mg dans le maïs entier ; $2,55 \pm 0,36$ mg dans le maïs décortiqué et $2,23 \pm 0,19$ mg dans le maïs brisé.

Ces résultats sont consignés dans le tableau 2.

Les résultats de l'analyse de variance des poids moyens en fonction des différents substrats du maïs, avec un intervalle de confiance à 95%, montrent que la différence des poids moyens n'est pas significative entre les *S. zeamais* qui se sont développés dans le maïs entier, le maïs décortiqué et le maïs brisé ($F = 2,12 > 0,05$).

Les données sont représentées dans le tableau 5.

Tableau 5 : Analyse des différences entre les groupes avec un intervalle de confiance à 95 %

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Valeur critique pour F
Entre Groupes	6,019	2	3,0095	2,1187	3,1588427193
A l'intérieur des groupes	80,965	57	1,42043		
Total	86,984	59			

La comparaison deux à deux des poids moyens par le test t de Student montre que la différence des poids moyens n'est pas significative au seuil de risque $\alpha = 0,05$ entre les populations de *S. zeamais* ayant bouclé leur cycle dans le maïs entier et ceux ayant évolué dans le maïs décortiqué ($p = 0,57 > 0,05$) ; de même qu'entre le maïs entier et le maïs brisé ($p = 0,06 > 0,05$). Ces mêmes résultats sont retrouvés entre le maïs décortiqué et le maïs brisé ($p = 0,14 > 0,05$). Ces résultats sont consignés dans le tableau 6.

Tableau 6 : Comparaison des poids moyens de *Sitophilus zeamais* sur les différents supports alimentaires.

	Maïs entier	Maïs décortiqué	Maïs brisé
Maïs entier	-	P = 0,57	P = 0,06
Maïs décortiqué	-	-	P = 0,14
Maïs brisé	-	-	-

II.2.1.1.5 Sex-ratio

Le sex-ratio (pourcentage de femelle) est en faveur des mâles de *S. zeamais* aussi bien dans le maïs entier (34,48%) ; le maïs décortiqué (34,12%) et le maïs brisé (34,55%). Ces résultats sont consignés dans le tableau 7.

Tableau 7 : Emergence des adultes et sex-ratio (R) de *Sitophilus zeamais* sur les différents supports alimentaires.

Substrats	Nombre d'adultes sexés	Nombre de Mâles	Nombre de Femelles	R (%)
Maïs Entier	29	19	10	34,48
Maïs Décortiqué	38	25	13	34,12
Maïs Brisé	55	36	19	34,55
Farine de Maïs	0	0	0	0

II.2.1.2 Paramètres biodémographiques de *S. oryzae* sur les quatre substrats du maïs

II.2.1.2.1 Cinétique d'émergence des adultes

L'analyse de la figure 22 montre que dès la première journée d'observation, le nombre moyen d'adultes émergés est plus important dans le maïs décortiqué (1) que le maïs brisé (0,83) et le maïs entier (0,13).

Il n'y a pas eu d'émergences d'adultes au deuxième jour dans le maïs entier et le maïs décortiqué. En revanche, dans le maïs brisé, le nombre moyen d'adultes émergés a diminué (0,08) par rapport au premier jour.

Le nombre moyen d'adultes émergés est plus important dans le maïs entier à la troisième journée d'observation allant jusqu'à 0,25. Cette moyenne est restée la même dans le maïs brisé (0,08). Dans le maïs décortiqué, le nombre moyen d'adultes émergés est de 0,17.

A la quatrième journée, le nombre moyen d'adultes émergés a augmenté dans le maïs brisé (0,25) par rapport à la troisième journée. Il n'y a pas eu d'émergences d'adultes dans le maïs entier et le maïs décortiqué.

Le nombre moyen d'adultes émergés au sixième est plus important dans le maïs brisé (0,75). Ce nombre diminue dans le maïs entier (0,5).

A la septième journée d'observation, le nombre moyen d'adultes émergés est resté le même dans le maïs entier (0,5). En revanche, cette moyenne a augmenté (0,17) dans le maïs décortiqué par rapport à la sixième journée d'observation où il n'y avait pas eu d'émergences.

Dans le maïs décortiqué, le nombre moyen d'adultes émergés au huitième jour est de 0,33.

Il faut noter qu'au neuvième jour, il n'y a eu émergence que dans le maïs brisé avec un nombre moyen d'adultes émergés de 0,42.

Au dixième jour d'observation, il y a une diminution du nombre moyen d'adultes émergés dans le maïs brisé (0,25). Ce nombre est de 0,38 dans le maïs entier.

Le nombre moyen d'adultes émergés augmente dans le maïs entier allant jusqu'à 0,5 au onzième jour. Il est de 0,17 dans le maïs décortiqué.

Il n’y a pas eu d’émergences d’adultes dans la farine de maïs même après 15 jours d’observation.

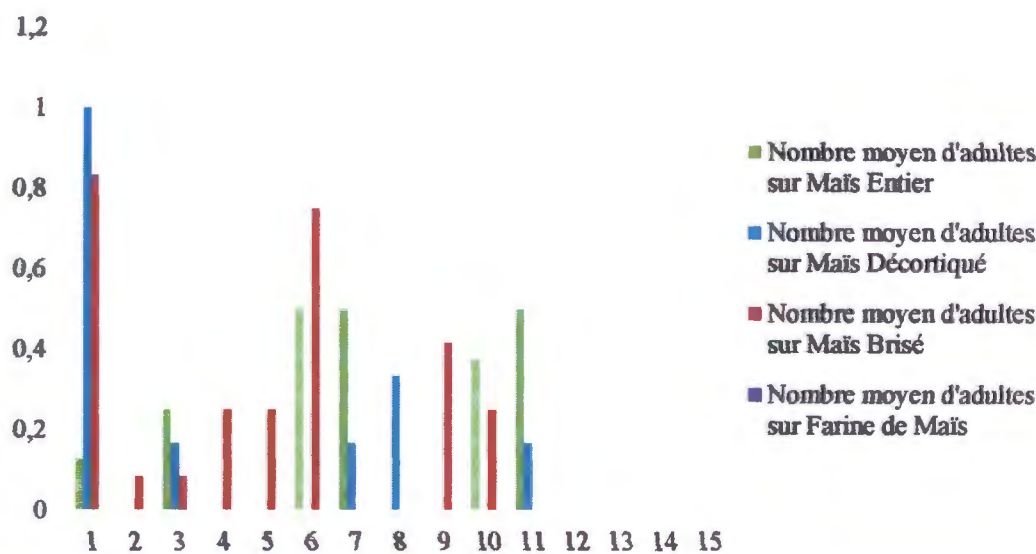


Figure 22 : Cinétique d’émergence des adultes de *Sitophilus oryzae* sur les quatre états du maïs en fonction des jours

II.2.1.2.2 Durée moyenne de développement

Les paramètres biodémographiques observés chez *S. oryzae* varient en fonction des différents substrats du maïs (entier, décortiqué, brisé et farine).

La durée moyenne de développement est de $31,04 \pm 2,70$ jours dans le maïs entier ; $26,83 \pm 1,48$ jours dans le maïs décortiqué et $30,36 \pm 2,26$ jours dans le maïs brisé. Il n’y a pas eu de développement de *S. oryzae* sur la farine de maïs. Même après cinq jours d’infestation, aucun développement n’a été observé. Ainsi, les paramètres biodémographiques n’ont pas été déterminés.

Ces résultats sont résumés dans le tableau 8.

Tableau 8 : Paramètres biodémographiques de *Sitophilus oryzae* sur les quatre substrats du maïs à 28,5 - 31°C et 41 - 67% H.R.

	Maïs Entier	Maïs Décortiqué	Maïs Brisé	Farine de Maïs
Durée moyenne de Développement (jours)	31,04 ± 2,70	26,83 ± 1,48	30,36 ± 2,26	0
Nombre d'adultes	18	20	35	0
Poids moyen (mg)	2,13 ± 0,18	2,03 ± 0,26	2,19 ± 0,20	0
Sex-Ratio (%)	27,78	40,00	28,57	0,00

En plus, les résultats de l'analyse de variance avec un intervalle de confiance à 95% pour les durées moyennes de développement en fonction des différents substrats, révèlent l'absence d'une différence significative entre les *S. oryzae* qui se sont développés dans le maïs entier, décortiqué et brisé ($F = 0,77 > 0,05$).

Les données sont résumées dans le tableau 9.

Tableau 9 : Analyse des différences entre les groupes avec un intervalle de confiance à 95 %

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Valeur critique pour F
Entre Groupes	344,721879	2	172,36093	0,7775	3,15884
A l'intérieur des groupes	12635,72578	57	221,67939		
Total	12980,44766	59			

La comparaison deux à deux des durées moyennes de développement par le test t de Student (tableau 10) montre que la différence des durées moyennes de développement n'est pas significative au seuil de risque $\alpha = 0,05$ entre les populations de *S. oryzae* ayant bouclé leur cycle dans le maïs entier et celles ayant évolué dans le maïs décortiqué ($p = 0,42 > 0,05$) ; de même qu'entre le maïs entier et le maïs brisé ($p = 0,25 > 0,05$). Ces mêmes résultats sont retrouvés entre le maïs décortiqué et le maïs brisé ($p = 0,70 > 0,05$).

Tableau 10 : Comparaison des durées moyennes de développement de *Sitophilus oryzae* sur les différents supports alimentaires.

	Maïs entier	Maïs décortiqué	Maïs brisé
Maïs entier	-	P = 0,42	P = 0,25
Maïs décortiqué	-	-	P = 0,70
Maïs brisé	-	-	-

II.2.1.2.3 Nombre d'adultes

Le nombre d'adultes émergés est plus important dans le maïs brisé (35 adultes). Sur le maïs décortiqué, il y a eu 20 adultes et dans le maïs entier, 18 adultes ont émergé (tableau 8). Il faut rappeler qu'il n'y a pas eu de développement de *S. oryzae* sur la farine de maïs. Ainsi, même après 15 jours d'observation, aucune émergence d'adultes n'a été notée.

II.2.1.2.4 Poids moyen des adultes

Les insectes qui émergent dans chaque substrat sont pesés individuellement 24h après leur sortie. Nos résultats signalent que le poids moyen est de $2,13 \pm 0,18$ mg dans le maïs entier ; $2,03 \pm 0,26$ mg dans le maïs décortiqué et $2,19 \pm 0,20$ mg dans le maïs brisé.

Ces résultats sont consignés dans le tableau 8.

Une analyse de variance des poids moyens en fonction des différents substrats du maïs, avec un intervalle de confiance à 95%, montre que la différence des poids moyens n'est pas significative entre les *S. oryzae* qui se sont développés dans le maïs entier, le maïs décortiqué et le maïs brisé ($F = 1,03 > 0,05$). Ces données sont représentées dans le tableau 11.

Tableau 11 : Analyse des différences entre les groupes avec un intervalle de confiance à 95 %

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Valeur critique pour F
Entre Groupes	2,39810	2	1,19905	1,03757	3,15884
A l'intérieur des groupes	65,87079	57	1,15562		
Total	68,26889	59			

La comparaison deux à deux des poids moyens par le test t de Student montre que la différence des poids moyens n'est pas significative au seuil de risque $\alpha = 0,05$ entre les populations de *S. oryzae* ayant bouclé leur cycle dans le maïs entier et celles ayant évolué dans le maïs décortiqué ($p = 0,26 > 0,05$) ; de même qu'entre le maïs entier et le maïs brisé ($p = 0,19 > 0,05$). Ces mêmes résultats sont observés entre le maïs décortiqué et le maïs brisé ($p = 0,81 > 0,05$). Ces résultats sont consignés dans le tableau 12.

Tableau 12 : Comparaison des poids moyens de *Sitophilus oryzae* sur les différents supports alimentaires.

	Maïs entier	Maïs décortiqué	Maïs brisé
Maïs entier	-	P = 0,26	P = 0,19
Maïs décortiqué	-	-	P = 0,81
Maïs brisé	-	-	-

II.2.1.2.5 Sex-ratio

Le sex-ratio (pourcentage de femelle) est en faveur des mâles de *S. oryzae* aussi bien dans le maïs entier (27,78%) ; le maïs décortiqué (40%) que dans le maïs brisé (28,57%). Ces résultats sont consignés dans le tableau 13.

Tableau 13 : Emergence des adultes et sex-ratio (R) de *Sitophilus oryzae* sur les différents supports alimentaires.

Substrats	Nombre d'adultes sexés	Nombre de Mâles	Nombre de Femelles	R (%)
Maïs Entier	18	13	5	27,78
Maïs Décortiqué	20	12	8	40
Maïs Brisé	35	25	10	28,57
Farine de Maïs	0	0	0	0

II.2.1.3 Comparaison des paramètres biodémographiques selon l'origine de *Sitophilus*

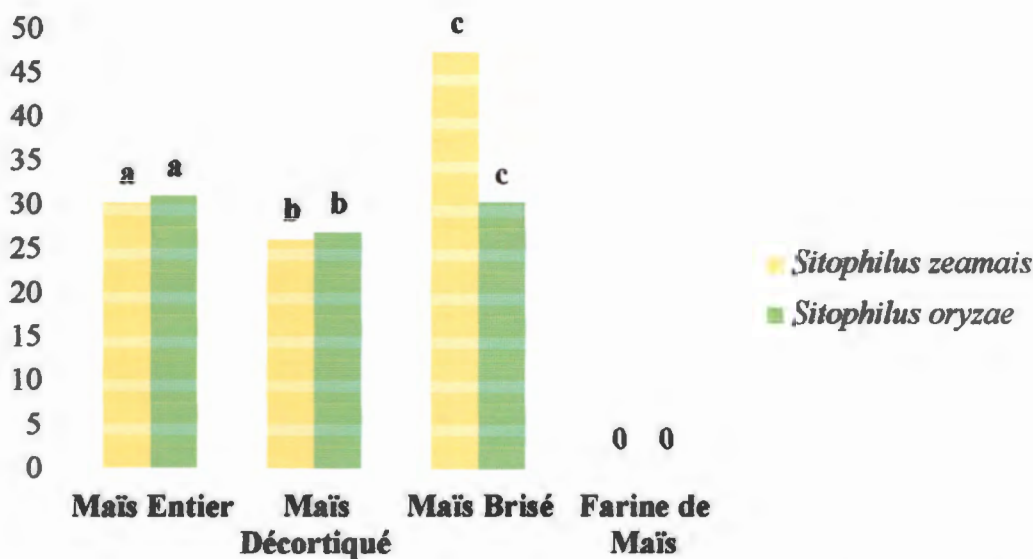
II.2.1.3.1 Durée moyenne de développement

Les paramètres biodémographiques varient selon la provenance de *Sitophilus*.

La durée moyenne de développement dans le maïs entier est de $30,23 \pm 2,29$ jours pour *S. zeamais* et $31,04 \pm 2,70$ jours pour *S. oryzae* (figure 23).

Dans le mil décortiqué, la durée moyenne de développement est de $26,07 \pm 2,23$ jours pour *S. zeamais* et $26,83 \pm 1,48$ jours pour *S. oryzae*.

Ainsi, la durée moyenne de développement dans le mil brisé est de $47,45 \pm 5,52$ jours pour *S. zeamais* et $30,36 \pm 2,26$ jours pour *S. oryzae*.



Pour chaque substrat du maïs, la même lettre sur les histogrammes montre que les valeurs ne diffèrent pas entre elles au seuil $p < 0.05$ (test de Student).

Figure 23 : Durées moyennes de développement de *S. zeamais* et de *S. oryzae* en fonction de la nature du substrat

En plus, dans le maïs entier, la différence des durées moyennes de développement n’est pas significative au seuil de risque $\alpha = 0,05$ entre *S. zeamais* et *S. oryzae* ($p = 0,06 > 0,05$) de même que dans le maïs décortiqué ($p = 0,83 > 0,05$) et le maïs brisé ($p = 0,29 > 0,05$).

Les résultats sont consignés dans le tableau 14.

Tableau 14: Comparaison des durées moyennes de développement de *S. zeamais* et *S. oryzae* sur les différents supports alimentaires.

Insectes comparés		Valeurs de p
Maïs entier	<i>S. zeamais</i> , <i>S. oryzae</i>	0,06
Maïs décortiqué	<i>S. zeamais</i> , <i>S. oryzae</i>	0,83
Maïs brisé	<i>S. zeamais</i> , <i>S. oryzae</i>	0,29
Farine de maïs	<i>S. zeamais</i> , <i>S. oryzae</i>	-

II.2.1.3.2 Nombre d'adultes

Dans le maïs entier, le nombre d'adultes est plus important pour *S. zeamais* (29) que pour *S. oryzae* (18).

Le nombre d'adultes est aussi plus important pour *S. zeamais* (38) que pour *S. oryzae* (20) dans le maïs décortiqué.

Dans le maïs brisé, ce nombre est plus important pour *S. zeamais* (55) que pour *S. oryzae* (35).

Les résultats sont consignés dans le tableau 15.

Tableau 15 : Comparaison des nombres d'adultes de *Sitophilus* en fonction de sa provenance et de la nature du substrat

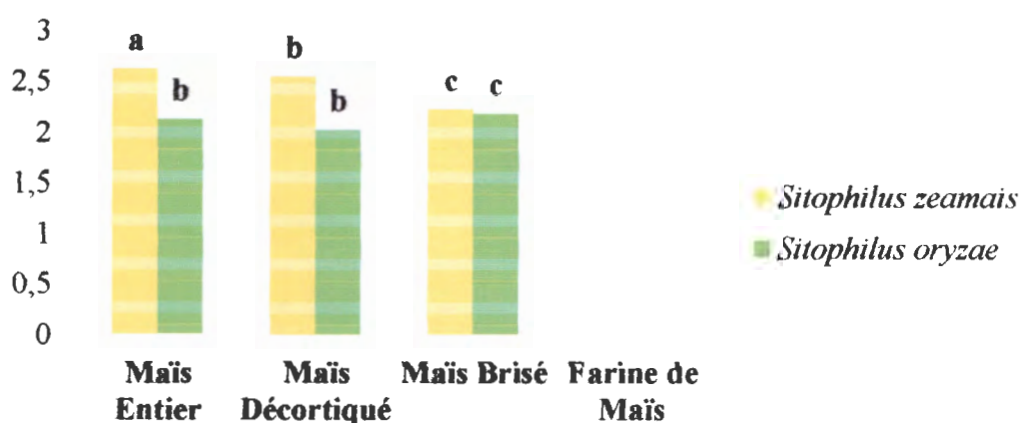
		Nombre d'adultes
Maïs Entier	<i>Sitophilus zeamais</i>	29
	<i>Sitophilus oryzae</i>	18
Mil Décortiqué	<i>Sitophilus zeamais</i>	38
	<i>Sitophilus oryzae</i>	20
Mil Brisé	<i>Sitophilus zeamais</i>	55
	<i>Sitophilus oryzae</i>	35
Farine de Mil	<i>Sitophilus zeamais</i>	0
	<i>Sitophilus oryzae</i>	0

II.2.1.3.3 Poids moyen des adultes

Le poids moyen des adultes dans le maïs entier est de $2,63 \pm 0,29$ mg pour *S. zeamais* et $2,13 \pm 0,18$ mg pour *S. oryzae* (figure 24).

Dans le mil décortiqué, ce poids moyen est de $2,55 \pm 0,36$ mg pour *S. zeamais* et $2,03 \pm 0,26$ mg pour *S. oryzae*.

Aussi, le poids moyen des adultes émergé dans le mil brisé est de $2,23 \pm 0,19$ mg pour *S. zeamais* et $2,19 \pm 0,20$ mg pour *S. oryzae*.



Pour chaque substrat du maïs, la même lettre sur les histogrammes montre que les valeurs ne diffèrent pas entre elles au seuil $p < 0,05$ (test de Student).

Figure 24 : Poids moyens de *S. zeamais* et de *S. oryzae* en fonction de la nature du substrat

En plus, dans le maïs entier, la différence des poids moyens est très significative au seuil de risque $\alpha = 0,05$ entre les populations de *S. zeamais* et de *S. oryzae* ($p = 0,008 < 0,05$). Cependant, dans le maïs décortiqué, la comparaison des poids moyens entre les populations de *S. zeamais* et de *S. oryzae*, révèle une valeur de $p = 0,20 > 0,05$. La différence entre ces poids moyens n'est pas significative au seuil de risque $\alpha = 0,05$. De même, dans le maïs brisé, la différence des poids moyens n'est pas significative ($p = 0,85 > 0,05$). Les résultats sont consignés dans le tableau 16.

Tableau 16: Comparaison des poids moyens des *Sitophilus* en fonction de leurs provenances sur les différents supports alimentaires.

	Insectes comparés	Valeurs de p
Maïs entier	<i>S. zeamais</i> , <i>S. oryzae</i>	0,008
Maïs décortiqué	<i>S. zeamais</i> , <i>S. oryzae</i>	0,20
Maïs brisé	<i>S. zeamais</i> , <i>S. oryzae</i>	0,85
Farine de maïs	<i>S. zeamais</i> , <i>S. oryzae</i>	-

II.2.1.3.4 Sex-ratio

Dans le maïs entier, le sex-ratio est en faveur des mâles pour *S. zeamais* (34,48%) et *S. oryzae* (27,78%). Aussi, le nombre de mâles est plus important chez *S. oryzae*.

Le sex-ratio reste toujours en faveur des mâles dans le maïs décortiqué. Mais le nombre de femelle est plus important pour *S. oryzae* avec un sex- ratio de 40%.

Dans le maïs brisé, le sex-ratio est toujours en faveur des mâles. Mais, ce nombre de mâles reste plus important pour *S. oryzae* (28,57%) que pour *S. zeamais* avec un sex-ratio de 34,55%.

Les résultats sont consignés dans le tableau 17.

Tableau 17 : Comparaison du Sex-ratio des *Sitophilus* en fonction de leurs provenances et de la nature du substrat

		Nombre de mâles	Nombre de femelles	Sex-ratio (%)
Maïs Entier	<i>Sitophilus zeamais</i>	19	10	34,48
	<i>Sitophilus oryzae</i>	13	5	27,78
Mil Décortiqué	<i>Sitophilus zeamais</i>	25	13	34,12
	<i>Sitophilus oryzae</i>	12	8	40
Mil Brisé	<i>Sitophilus zeamais</i>	36	19	34,55
	<i>Sitophilus oryzae</i>	25	10	28,57
Farine de Mil	<i>Sitophilus zeamais</i>	0	0	0,00
	<i>Sitophilus oryzae</i>	0	0	0,00

II.2.2 Discussion

Cette étude a porté sur l'effet des différents états du maïs (entier, décortiqué, brisé et farine) sur les capacités de développement de *S. zeamais* et *S. oryzae*, à une humidité relative variant entre 41 - 67% et à des températures ambiantes oscillant entre 28,5 - 31°C. La question cruciale qui se pose est de savoir si les différentes formulations du maïs influent sur le développement de *S. zeamais* et de *S. oryzae*.

Les résultats obtenus sur la cinétique d'émergence des adultes de *S. zeamais*, montrent que l'émergence s'est faite de manière variable sur les différentes formulations du maïs. Ces fluctuations peuvent être liées à la durée de vie larvaire au stade IV qui varierait suivant les individus. Selon Kouassi, (1991), presque toutes les espèces de *Sitophilus* passent plus de la moitié de leur vie larvaire au stade IV et la durée de ce stade varie, largement, d'un individu à l'autre. Les différences constatées dans la vitesse d'apparition seraient donc liées à la spécificité des individus dans chaque support alimentaire. En plus, 38 adultes ont été dénombrés sur le maïs décortiqué et 29 sur le maïs entier. Le plus grand nombre d'adultes (55 adultes) a été noté dans le maïs brisé. En effet, il n'y a pas eu de développement de *S. zeamais* sur la farine de maïs. Ce constat, nous permet de dire que cette absence de ponte sur la farine de maïs pourrait être liée à la biologie de *S. zeamais*. Car, selon Philogène *et al.* (1989), la femelle de *S. zeamais* pond ses œufs, en plaçant chacun d'eux dans un petit trou creusé dans le grain et en scellant celui-ci avec un bouchon de salive mucilagineux. En revanche, il y a eu moins d'adultes dans le maïs entier par rapport au maïs décortiqué et brisé. L'effectif de la descendance semble dépendre de la résistance que le grain oppose à l'insecte. Mais, ce résultat est suffisant pour confirmer le statut écologique de *S. zeamais* déjà signalé comme un ravageur primaire (Danho *et al.*, 2000 ; Danho *et al.*, 2002 ; Trematerra, 2009 ; Toumno, 2012). Il faut rappeler que les ravageurs primaires sont capables de casser l'enveloppe dure des graines saines. Ils sont les plus dangereux, car ils endommagent les graines intactes, ce qui permet aux larves de se développer à l'intérieur. Ils permettent également l'infestation du stock par les ravageurs secondaires et tertiaires pour qui les graines endommagées sont une source de nourriture.

Les résultats obtenus pour les durées moyennes de développement de *S. zeamais* montrent qu'elle est de $30,23 \pm 2,29$ jours dans le maïs entier ; $26,07 \pm 2,23$ jours dans le maïs décortiqué et $47,45 \pm 5,52$ jours dans le maïs brisé. La différence entre les durées moyennes de développement n'est pas significative. En effet, l'état du maïs (entier, décortiqué ou brisé)

semble ne pas agir sur la durée de développement de *S. zeamais*. Par ailleurs, il faut rappeler que pour *S. zeamais*, une température comprise entre 25 à 27 °c et une humidité relative de 70 % sont nécessaires pour son développement. En effet, Delobel et Tran (1993), rapportent que l'optimum de développement de *S. zeamais* entre 27 et 31°C pour 70% d'humidité est de 36 jours.

Par ailleurs, pour la croissance pondérale des insectes, nos résultats indiquent que le poids moyen est de $2,63 \pm 0,29$ mg dans le maïs entier ; $2,55 \pm 0,36$ mg dans le maïs décortiqué et $2,23 \pm 0,19$ mg dans le maïs brisé. En effet, la différence des poids moyens n'est pas significative entre les *S. zeamais* qui se sont développés dans le maïs entier, le maïs décortiqué et le maïs brisé. Ce résultat nous permet de dire que l'état du maïs semble ne pas influencer sur le devenir du poids des insectes émergés. En revanche, en cas de forte infestation, ces insectes réduisent subséquemment le poids de la denrée et la qualité du grain, résultant de l'alimentation des larves sur l'endosperme. Les taux évalués peuvent devenir énormes en six mois seulement, estimés à près de 18 % avec le maïs égrené, (Gueye *et al.*, 2012).

Le sex-ratio est resté globalement en faveur des mâles de *S. zeamais* aussi bien dans le maïs entier (34,48%) ; le maïs décortiqué (34,12%) et le maïs brisé (34,55%). En effet le sex-ratio est un indice biologique important, parce que la proportion de mâle et de femelle peut affecter le succès de la reproduction. En effet, Kébé, (2013) qui a travaillé avec des *Callosobruchus maculatus* a affirmé que si les femelles dominant dans la nouvelle génération, elles auront un rôle prépondérant dans l'infestation des graines stockées puisqu'il y aura plus d'œufs pondus d'où l'importance des dégâts dans les graines sensibles. Ce qui ne sera pas le cas pour nos résultats car ici, il y'aura probablement une compétition entre les mâles pour les femelles disponibles. Ce qui pourrait réduire l'infestation lors du stockage.

S. zeamais est un ravageur primaire capable de se développer sur le maïs entier, le maïs décortiqué et le maïs brisé. La farine de maïs semble ne pas être favorable au développement de *S. zeamais*.

Cependant, en comparant les paramètres biodémographiques de *S. oryzae* issus du mil sur les quatre substrats du maïs, le constat est que l'émergence s'est faite de manière variable sur les différents supports alimentaires. En effet, le nombre moyen d'adultes émergés est plus important dans le maïs décortiqué au premier jour de dénombrement. Cette émergence des adultes s'est faite jusqu'au onzième jour dans le maïs entier et le maïs décortiqué. En

revanche dans le maïs brisé l'émergence des adultes s'est arrêtée au dixième jour d'observation. En plus, le nombre d'adultes émergés est plus important dans le maïs brisé où 35 adultes ont été dénombrés. Sur le maïs décortiqué, il y a eu 20 adultes et dans le maïs entier, 18 adultes ont émergé. En effet, il n'y a pas eu de développement de *S. oryzae* sur la farine de maïs. Ainsi aucun adulte n'a été observé. Nos résultats sont similaires à ceux de la Commission Canadienne des graines qui stipule que *S. oryzae* ne se développe pas sur la farine à moins qu'elle soit compactée. Par ailleurs, suivant nos résultats, il apparaît que le maïs brisé est plus favorable au développement de *S. oryzae*. En effet, il faut rappeler que pour le maïs brisé, les grains entiers ont été réduits en morceaux ce qui apparemment à faciliter le développement de l'insecte. En plus, Kouassi, (1991) rapporte que les femelles de *S. oryzae* ne pondent que dans des grains ou des morceaux de grains suffisamment grands. Mais, *S. oryzae* est un ravageur primaire qui a une préférence pour les grains de petite taille comme le mil et le riz (Seck, 2009 ; Camara, 2009). Ainsi, ce constat fait apparaître clairement que, lorsque le grain est de grande taille, le nombre de grains infestés diminue, ce qui entraînerait une diminution conséquente du nombre d'adultes. Tous ces facteurs réunis empêchent la ponte des œufs, en grand nombre, par les femelles de *S. oryzae*, favorisant, ainsi, la réduction de l'effectif dans le maïs entier.

En ce qui concerne la durée moyenne de développement, elle est de $31,04 \pm 2,70$ jours dans le maïs entier ; $26,83 \pm 1,48$ jours dans le maïs décortiqué et $30,36 \pm 2,26$ jours dans le maïs brisé. La différence entre les durées moyennes de développement n'est pas significative. En effet, nous avons le même support alimentaire qui est le maïs sur différentes formulations. Cependant, il convient de noter que *S. oryzae* n'est pas aussi sélectif que *T. castaneum* qui est couramment utilisée dans des essais biologiques pour l'évaluation des qualités nutritionnelles globales des aliments (Bekon, 1984).

Pour ce qui est du poids moyen des insectes, les résultats montrent qu'il est de $2,13 \pm 0,18$ mg dans le maïs entier ; $2,03 \pm 0,26$ mg dans le maïs décortiqué et $2,19 \pm 0,20$ mg dans le maïs brisé. En effet, la différence des poids moyens n'est pas significative entre les *S. oryzae* qui se sont développés dans le maïs entier, le maïs décortiqué et le maïs brisé. Ainsi, la nature du substrat semble ne pas affecter le devenir du poids de l'insecte.

Le sex-ratio est en faveur des mâles de *S. oryzae* aussi bien dans le maïs entier (27,78%) ; le maïs décortiqué (40%) et le maïs brisé (28,57%). Cependant, il y a plus de mâle dans le maïs entier, ce qui entraînerait une diminution de l'infestation lors du stockage.

S. oryzae provenant du mil est capable de se développer sur toutes les formulations du maïs à l'exception de la farine qui semble être plus résistante aux attaques de *S. oryzae*. Mais, ce dernier se développe difficilement dans les grains entiers.

Toutefois, en comparant les paramètres biodémographiques selon l'origine de *Sitophilus*, le constat est que dans le maïs entier, la différence des durées moyennes de développement n'est pas significative au seuil de risque $\alpha = 0,05$ entre *S. zeamais* et *S. oryzae* ($p = 0,06 > 0,05$) de même que dans le maïs décortiqué ($p = 0,83 > 0,05$) et le maïs brisé ($p = 0,29 > 0,05$). Il apparaît que l'origine de *Sitophilus* n'influe pas sur le développement de l'insecte. En effet, *S. zeamais* et *S. oryzae* sont tous les deux présents dans les stocks de maïs au Sénégal (Ndao, 2011). D'ailleurs, la plupart des producteurs pensent que l'épi offre une certaine protection aux grains contre les attaques d'insectes, d'où une plus grande sensibilité du maïs égrené (Gueye *et al.*, 2012).

Par ailleurs, pour le nombre d'adultes, le constat est qu'il y a une différence significative en faveur des *S. zeamais* avec un nombre d'adultes plus important quel que soit l'état du maïs. En effet, il a été noté que l'origine de *Sitophilus* influe sur le nombre d'adultes émergés. Ainsi, il y a une certaine préférence de *Sitophilus zeamais* pour le maïs particulièrement quand ce dernier y provient. En effet, selon Seck, (2009), Danho *et al.* (2015), *S. zeamais* préfère les grains de grande taille comme le maïs. Par ailleurs, Ratnadass, (1987) rapporte que l'abondance de *Sitophilus zeamais*, ravageur primaire dans le maïs, s'explique par le fait qu'à l'apparition des conditions du milieu favorable à son développement les formes pré imaginale de cet insecte se transforment plus rapidement et entraînent une augmentation de la population de l'insecte. Aussi, Cette préférence de *Sitophilus zeamais* pour le maïs pourrait s'expliquer soit par la forme de stockage ou par les propriétés intrinsèques du maïs propice au développement de l'insecte (Waongo *et al.*, 2013). Mais, il ne faut pas négliger la capacité de développement de *S. oryzae* provenant du mil sur toutes les formulations du maïs sauf la farine. Serait-il le même si les *S. oryzae* utilisés pour les expériences provenaient du maïs ?

En ce qui concerne le poids moyen des insectes, il est aussi intéressant de noter que lorsqu'on s'adresse au même support alimentaire (maïs entier), il y a une différence nette dans le devenir du poids moyen des insectes entre les populations de *S. zeamais* et de *S. oryzae* ($p = 0,008 < 0,05$). En effet, le poids des *S. zeamais* émergés est plus important que celui de *S. oryzae*. Cette différence fait apparaître clairement que la protection du grain, par une enveloppe,

limite non seulement le degré d'infestation du grain mais aussi limite la croissance des insectes infestant ce grain.

Le sex-ratio pour *S. zeamais* et pour *S. oryzae* provenant du mil, reste en faveur des mâles quel que soit la formulation du maïs.

Le sex-ratio serait-il le même si les *S. oryzae* provenait du maïs ?

CONCLUSION

Cette étude sur le développement de *Sitophilus zeamais* et de *Sitophilus oryzae* sur les différentes formulations du maïs, nous a permis de montrer que le maïs entier, décortiqué ou brisé est favorable au développement de *Sitophilus zeamais* et *Sitophilus oryzae*.

Mais, le maïs semble plus tenir aux attaques des deux *Sitophilus* quand il est transformé en farine. Ainsi, pour limiter l'infestation de *Sitophilus* sur le maïs il faut le stocker après sa transformation en farine. Cependant, il faut noter que le maïs est moins attaqué quand il est entier.

Au terme de cette étude, les questions qui se posent maintenant et qui constituent pour nous de nouvelles pistes pour les investigations futures sont de savoir:

- l'importance des dégâts causés par ces insectes au cours du temps.
- Les moyens de contrôler les ravageurs d'importance économique en passant par la lutte intégrée, la lutte biologique déjà en cours, de la résistance variétale et des méthodes culturales car une méthode à elle seule présente des limites.

Chapitre III : Evolution des paramètres biodémographiques de *Tribolium castaneum* H. (Coleoptera, Tenebrionidae) provenant du mil (*Pennisetum glaucum* Leek) et du maïs (*Zea mays* L.) sur les différents substrats du mil.

INTRODUCTION

Au Sénégal, parmi les cultures céréalières, le mil, encore appelé petit mil, mil perlé ou mil à chandelle, occupe la place la plus importante aussi bien du point de vue de la production (60%) que des surfaces emblavées, presque 75 % (MAE, 2001). Sa culture est pratiquée partout dans le pays. Le mil reste la céréale dominante aussi bien au niveau de la production que de la commercialisation (INFO CONSEIL et PAOA, 2006). Il est la céréale la plus tolérante à la sécheresse et l'alimentation de base de près de 50 millions d'habitants, il reste la seule culture correspondant aux conditions du Sahel et aux habitudes alimentaires traditionnelles (Gueye *et al.*, 2011). Le mil est également utilisé à d'autres fins : les tiges et les feuilles constituent une importante source de fourrage pour les animaux, d'énergie combustible, de matériaux de construction pour les populations et d'artisanat (Tapsoba, 1991). Les cendres provenant des tiges calcinées sont une source de potasse.

Le rendement actuel du mil est largement en deçà des attentes de la couverture nationale en nourriture. En effet, plusieurs facteurs contribuent à la limitation de l'augmentation de la production du mil parmi lesquels, nous avons les contraintes de la dégradation de l'environnement agro-écologique, celles liées au faible niveau d'utilisation des semences et d'engrais, de la pénibilité du battage du mil, des problèmes de financement, des besoins de producteurs et les contraintes liées au relèvement fréquent du prix aux producteurs des cultures de rente (Arachide et coton) (MAE, 2001). Il y a aussi une contrainte spécifique de taille dans la culture du mil, il s'agit du phénomène *Striga* (*Striga hermonthica*) (Ndoye *et al.*, 1986). Les pertes liées aux conditions de stockage sont plus importantes et atteignent 20 à 30% après 6 mois de stockage (CILSS, 1998). Selon Kouassi (1991), les denrées alimentaires analysées sont infestées, essentiellement, par des Coléoptères dont la présence est, sans doute, en rapport avec les températures et le degré hygrométrique constamment élevés auxquels sont soumis les stocks de céréales. En effet, les insectes ravageurs peuvent causer des pertes importantes en réduisant la qualité et la quantité des produits stockés (Bounechada, 2011).

Parmi ces ravageurs, nous avons *Tribolium castaneum* (Herbst) qui est, parmi les insectes des stocks, le plus ubiquiste, le plus polyphage et le plus redoutable. Les larves sont mobiles et se nourrissent. Les adultes se nourrissent des mêmes aliments que les larves et vivent entre 15 et 20 mois. On peut rencontrer cinq générations par an. Les adultes et les larves ne s'implantent généralement dans les grains qu'après les attaques de ravageurs primaires qui leur ouvrent la

porte (Camara, 2009) ou lorsque les grains sont brisés (Seck *et al.*, 1992). Les souillures de *T. castaneum* corrompent de très nombreuses denrées amylacées notamment les farines de céréales (Bonneton, 2010). *T. castaneum* est considéré comme un ravageur secondaire strict causant d'importants dégâts sur les stocks de mil battu dans toutes les zones sahéliennes (Roorda *et al.*, 1982). Mais, les recherches de Seck, (1983) ont montré que l'infestation de *T. castaneum* est plus souvent notée sur le mil battu et conservé en sacs, que sur les épis entiers stockés dans les greniers traditionnels. En plus, l'augmentation du taux de brisure dans le substrat réduit la mortalité larvaire ainsi que la durée du cycle de développement de l'insecte et entraîne une plus grande production de larves et d'adultes par kilogramme de substrat (Seck *et al.*, 1992). En effet, *T. castaneum* a été longtemps classé parmi les ravageurs secondaires mais la commission canadienne des grains (CCG) l'a classé actuellement dans le groupe des ravageurs primaires.

Certaines pratiques des paysans après récolte, telles que, le stockage du mil sous forme de grain entier et le battage mécanique pour les besoins de la commercialisation sont favorables au développement de *T. castaneum*. Ce battage est assuré par un matériel itinérant appartenant à de riches commerçants ou à des marabouts mais tenu par des agents souvent mal formés. Le mauvais réglage des machines peut entraîner un taux de brisure du grain de l'ordre de 10% (Mbengue, 1986).

L'élimination des insectes responsables de ces pertes pose des difficultés pour un pays en voie de développement peu différentes de celles qu'on rencontre dans les pays développés (Sembene, 2000). Les moyens de protection les plus utilisés contre les insectes sont les pesticides chimiques tels que les organophosphorés et les pyréthrinoides. En effet, ces derniers provoquent des problèmes de résistance chez les insectes ravageurs (Delobel et Tran, 1993) et entraînent en même temps des effets nocifs sur l'environnement et la santé humaine (Kouassi, 1991). La lutte contre ces insectes sans utilisation de moyens sophistiqués n'est possible que, dans la mesure où nous disposons d'un certain nombre d'éléments tels que la connaissance de la biologie et de l'écologie de l'insecte (Sembene, 2000).

Afin de comprendre la biologie de *T. castaneum*, il est essentiel de savoir comment l'insecte réagit face aux différents états du mil (entier, décortiqué, brisé et farine). Des études de Gueye *et al.*, (2012), ont montré que la température ambiante, l'humidité relative de l'air et le type de nourriture (grain entier et farine) ont un effet sur la durée du cycle de développement de *T.*

castaneum. Toutefois, peu de données récentes dans la littérature décrivent l'impact des variations du substrat sur les caractères biodémographiques (le nombre de larves et d'adultes, le poids, le sex-ratio des descendants, la durée de développement, *etc.*) de *T. castaneum*. Rappeler que la biodémographie désigne la distribution des événements majeurs qui jalonnent la vie d'un individu (Genest, 1990). En effet, les caractères biodémographiques influencent directement la reproduction et la survie et par conséquent affectent la vigueur biologique (Stearns, 1992 ; Daan et Tinbergen, 1997).

La présente étude a pour objectif de mieux connaître les paramètres biodémographiques dans le désir de mettre au point des techniques de protection intégrée des stocks dans le respect de l'environnement. Il s'agira alors de déterminer l'effet de l'état du mil (entier, décortiqué, brisé et farine) sur les capacités de développement de *Tribolium castaneum* provenant du mil d'une part et du maïs d'autre part, à la température et à l'humidité relative ambiante.

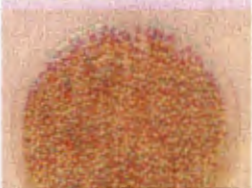
Dans ce chapitre nous allons essayer d'évaluer expérimentalement le développement et les dégâts de *T. castaneum* sur le mil entier, décortiqué, brisé et farine.

III.1 MATERIEL ET METHODES

III.1.1 Préparation des substrats

Le mil a été d’abord gardé au congélateur pendant 72 heures. Après un rééquilibrage à la température ambiante du laboratoire pendant 24 heures, les grains ont été séchés au soleil pendant 8 heures. Avec ce mil quatre types de substrats sont préparés : un substrat à base de grains entiers (non décortiqués), un à base de grains décortiqués, un avec des grains brisés et le dernier avec de la farine en poids respectivement (10g) (tableau 18).

Tableau 18 : Morphologies et Caractéristiques des différents substrats du mil

Substrats	Morphologies	Caractéristiques
Mil Entier		Non décortiqué, le Son et le Germe sont intacts
Mil Décortiqué		Le Son et une partie du germe sont éliminés
Mil brisé		Non décortiqué, brisé à 50%
Farine de mil		Décortiqué, puis réduit en particule fine après mouture

III.1.2 Elevage de masse et choix des couples

Les insectes utilisés sont élevés au laboratoire dans des bocaux en verre contenant du mil ou du maïs (figure 25). L'élevage vise le maintien et la multiplication de la souche afin d'avoir un nombre important d'individus à coupler.

Pour obtenir des couples, tous les insectes sont retirés d'abord de l'élevage de masse et trois jours après, un tamisage a été réalisé. Ensuite, les adultes sont isolés dans des boîtes de Pétri pendant deux jours pour leur assurer un âge de trois jours. Pour le sexage, Delobel et Tran, (1993) ont signalé que chez *T. castaneum*, il y a présence d'un tubercule pilifère arrondi à la base du fémur antérieur chez le mâle qui est absent chez la femelle. Ces insectes sont ensuite placés dans les boîtes de Pétri de 9 cm de diamètre et 1,5 cm de hauteur contenant la céréale à infester.



Figure 25 : Elevage de masse de *T. castaneum*

III.1.3 Développement de *T. castaneum* sur les quatre substrats

10 grammes de chaque substrat sont placés en 20 répétitions dans des boîtes de Pétri stériles de 9 cm de diamètre et 1,5 cm de hauteur. Ces boîtes sont infestées avec un couple de *T. castaneum* provenant du mil d'une part (figure 26A) et par un couple de *T. castaneum* provenant du maïs d'autre part (figure 26B), âgés de trois jours au moins et de 10 jours au plus pour s'assurer que la ponte a bien commencé (les femelles de *T. castaneum* commencent leur ponte dès l'âge de trois jours). La date d'infestation, correspondant au premier jour de l'expérience, est notée. 24h après, les couples sont retirés et les boîtes sont placées dans la salle d'expérimentation (figure 27).

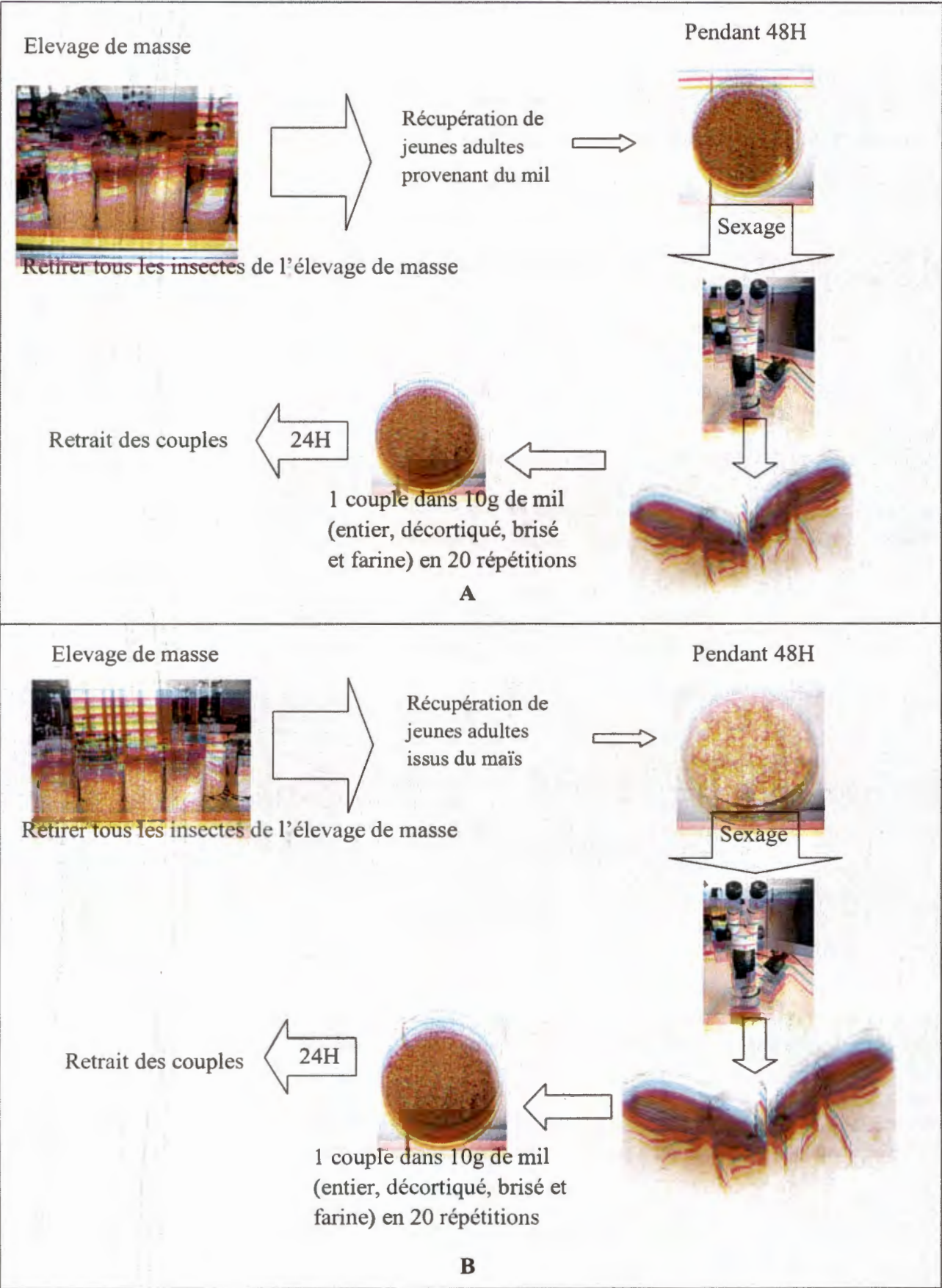


Figure 26 : Dispositif expérimental

- ❖ **Durée moyenne nymphe-adulte** qui correspond à la durée qui sépare la moyenne d'apparition des nymphes à la moyenne d'apparition des adultes (Annexes XII à IXX).
- ❖ **La durée moyenne de développement** est le temps qui sépare l'émission d'un œuf sur un grain et l'émergence des adultes y résultant (Annexes XII à IXX) ;
- ❖ **Le nombre d'adultes** correspond au nombre total d'adultes émergés (Annexes XII à IXX) ;
- ❖ **Le taux de fertilité biaisé** : C'est le rapport entre le nombre d'adultes émergés et le nombre total de larves (Annexes XII à IXX) ;

$$(TF) = (\text{Nombre d'adultes émergés} / \text{nombre total de larves}) \times 100$$

- ❖ **Le Poids moyen (P)** : le poids moyen est obtenu en divisant la somme des poids individuels par le nombre d'individus (Annexes XII à IXX) ;
- ❖ **Le sex-ratio (R)** qui donne le pourcentage des femelles comparativement à l'ensemble des descendants. Si le sex-ratio est supérieur à 50% alors le sex-ratio est en faveur des femelles dans le cas contraire il est en faveur des mâles (Annexe XX).

L'étude du développement de *T. castaneum* dans les quatre états du mil a été réalisée à une humidité relative variant entre 41 - 80% et à des températures oscillant entre 24,5 - 31°C.

III.1.4 Analyses statistiques

Le logiciel Excel version 14.0.7140.5002 (32bits) a été utilisé pour faire le traitement des données recueillies. Travaillant sur des effectifs réduits, le test "t" de Student a été utilisé pour la comparaison des moyennes. La signification statistique indiquée dans le texte se traduit comme suit:

- ❖ $P < 0,05$ (5%) Significatif =*
- ❖ $P < 0,01$ (1 %) ou $0,02$ (2%) Très significatif =**
- ❖ $P < 0,001$ (1 %) Hautement significatif =***

III.2 RESULTATS ET DISCUSSION

III.2.1 Résultats

III.2.1.1 Paramètres biodémographiques de *T. castaneum* provenant du mil sur les quatre substrats

III.2.1.1.1 Cinétique d'apparition des larves

Le nombre moyen de larves de *T. castaneum* observé après dix jours d'expérimentation décroît progressivement (figure 28). Le maximum est observé à la première journée d'apparition des larves allant jusqu'à 5,66 sur le mil brisé ; 5,2 sur le mil décortiqué ; 4,22 sur le mil entier et 3,33 sur la farine de mil. Sur le mil entier, on note une légère hausse du nombre moyen de larves à la troisième journée allant jusqu'à 2,78 par rapport à la deuxième journée où il a été noté 0,67 comme nombre moyen de larves.

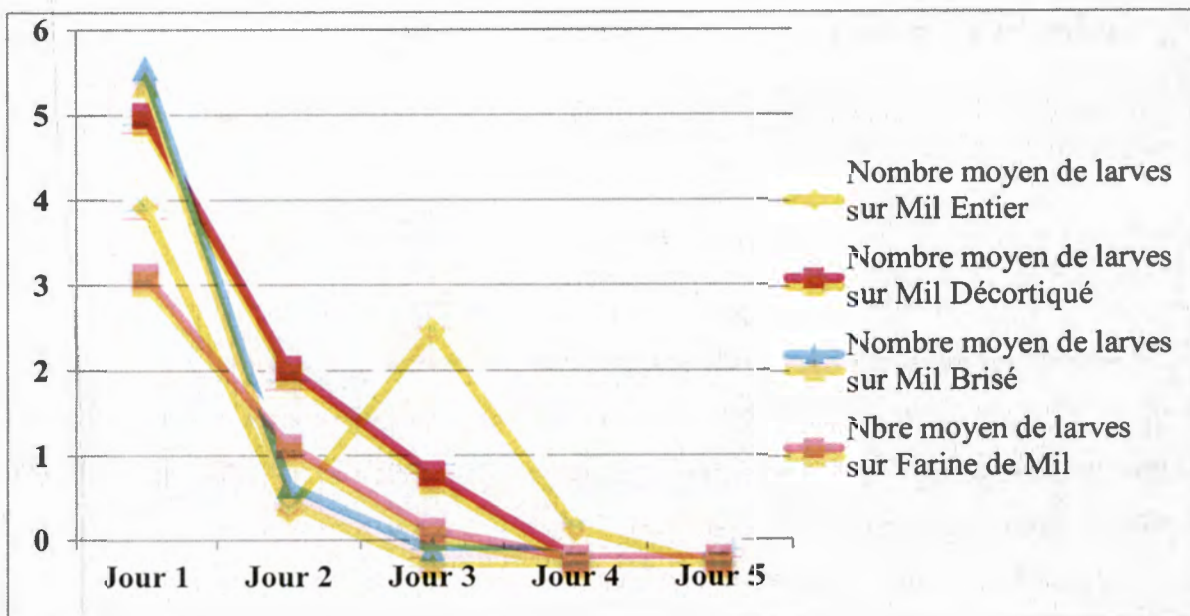


Figure 28: Cinétique d'apparition des larves de *T. castaneum* provenant du mil sur le mil dans ces quatre états en fonction des jours

III.2.1.1.2 Durée moyenne ponte-nymphé

Les paramètres biodémographiques observés varient en fonction des différents substrats du mil (entier, décortiqué, brisé et farine). La durée moyenne ponte-nymphé est de $32,88 \pm 1,52$ jours dans la farine de mil ; $30,2 \pm 1,2$ jours dans le mil décortiqué ; $26,22 \pm 2,34$ jours dans le mil entier et $24,17 \pm 1,77$ jours dans le mil brisé.

Ces résultats sont consignés dans le tableau 19.

Tableau 19 : Paramètres biodémographiques de *T. castaneum* provenant du Mil à 24,5 - 31°C et à 41 - 80% H.R.

	Mil Entier	Mil Décortiqué	Mil Brisé	Farine de Mil
Durée moyenne Ponte-Nymphé (jours)	$26,22 \pm 2,34$	$30,2 \pm 1,2$	$24,17 \pm 1,77$	$32,88 \pm 1,52$
Durée moyenne Nymphé-Adulte (jours)	$6,89 \pm 1,09$	$7,2 \pm 0,9$	$6,25 \pm 0,72$	$8,33 \pm 0,82$
Durée moyenne de Développement (jours)	$33,11 \pm 3,21$	$37,4 \pm 1,9$	$30,42 \pm 2,02$	$41,55 \pm 2,54$
Nombre de larves	73	36	77	45
Nombre d'adultes	69	36	77	39
Taux de Fertilité biaisé (%)	91	100	100	84,31
Poids moyen (mg)	$1,93 \pm 0,11$	$1,72 \pm 0,12$	$1,81 \pm 0,09$	$1,9 \pm 0,1$
Sex-ratio (%)	62,96	36,11	41,79	35,48

En outre, la comparaison des durées moyennes ponte-nymphe n'est pas significative au seuil de risque $\alpha = 0,05$ quel que soit le type de substrat (tableau 20).

Tableau 20 : Comparaison des durées moyennes ponte-nymphe de *T. castaneum* provenant du mil sur les différents supports alimentaires.

	Mil entier	Mil décortiqué	Mil brisé	Farine de mil
Mil entier	-	P = 0,15	P = 0,22	P = 0,27
Mil décortiqué	-	-	P = 0,05	P = 0,08
Mil brisé	-	-	-	P = 0,47
Farine de mil	-	-	-	-

III.2.1.1.3 Durée moyenne nymphe-Adulte

La durée moyenne nymphe-adulte est de $6,89 \pm 1,09$ jours dans le mil entier ; $7,2 \pm 0,9$ jours dans le mil décortiqué ; $6,25 \pm 0,72$ jours dans le mil brisé et $8,33 \pm 0,82$ jours dans la farine de mil (tableau 19).

La différence des durées moyennes nymphe-adulte n'est pas significative au seuil de risque $\alpha = 0,05$ entre *T. castaneum* dans le mil décortiqué et *T. castaneum* dans le mil entier ($p = 0,11 > 0,05$) de même qu'entre la farine de mil et le mil brisé ($p = 0,5 > 0,05$). Ces mêmes résultats sont retrouvés entre le mil brisé et le mil entier ($p = 0,23 > 0,05$). Par ailleurs, la différence des durées moyennes nymphe-adulte est significative au seuil de risque $\alpha = 0,05$ entre *T. castaneum* dans le mil brisés et *T. castaneum* dans le mil décortiqués ($p = 0,04 < 0,05$).

Les résultats sont consignés dans le tableau 21.

Tableau 21 : Comparaison des durées moyennes nymphe-adulte de *T. castaneum* provenant du mil sur les différents supports alimentaires.

	Mil entier	Mil décortiqué	Mil brisé	Farine de mil
Mil entier	-	P = 0,11	P = 0,23	P = 0,3
Mil décortiqué	-	-	P = 0,04 < 0,05*	P = 0,06
Mil brisé	-	-	-	P = 0,5
Farine de mil	-	-	-	-

III.2.1.1.4 Durée moyenne de développement

La durée moyenne du cycle de développement est de 33,11 ± 3,21 jours dans le mil entier ; 37,4 ± 1,9 jours dans le mil décortiqué ; 30,42 ± 2,02 jours dans le mil brisé et 41,55 ± 2,5 jours dans la farine de mil (tableau 19).

La différence des durées moyennes de développement est significative au seuil de risque alpha = 0,05 entre les individus de *T. castaneum* qui ont bouclé leur cycle sur le mil brisé et ceux bouclant leur cycle sur le mil décortiqué (p = 0,047 < 0,05). Ces résultats sont résumés dans le tableau 22.

Tableau 22 : Comparaison des durées moyennes de développement de *T. castaneum* provenant du mil sur les différents supports alimentaires.

	Mil entier	Mil décortiqué	Mil brisé	Farine de mil
Mil entier	-	P = 0,14	P = 0,22	P = 0,27
Mil décortiqué	-	-	P = 0,047 < 0,05*	P = 0,07
Mil brisé	-	-	-	P = 0,46
Farine de mil	-	-	-	-

III.2.1.1.5 Nombre de larves, d'adultes et taux de fertilité biaisé

Il y a plus de larves dans le mil brisé (77 larves) qui ont toutes émergé pour donner 77 adultes. Le nombre de larves est de 73 dans le mil entier pour 69 adultes émergés. Dans la farine de mil, 45 larves ont été dénombrées pour 39 adultes. Le nombre de larves est plus faible dans le mil décortiqué avec 36 larves qui ont tous émergé pour donner le même nombre d'adultes (tableau 19).

Le taux de fertilité biaisé est de 100% dans le mil décortiqué et le mil brisé. Ce taux diminue dans le mil entier avec 91% et dans la farine de mil 84,31% (tableau 19).

III.2.1.1.6 Poids moyen des adultes

Les insectes qui émergent dans chaque aliment sont pesés individuellement 24h après leur sortie. Nos résultats indiquent que le poids moyen de *T. castaneum* est de $1,93 \pm 0,11$ mg dans le mil entier ; $1,72 \pm 0,12$ mg dans le mil décortiqué ; $1,81 \pm 0,09$ mg dans le mil brisé et $1,9 \pm 0,1$ mg dans la farine de mil (tableau 19).

La différence des poids moyens est très significative au seuil de risque $\alpha = 0,05$ entre les *T. castaneum* qui ont bouclé leur cycle sur le mil brisé et ceux bouclant leur cycle sur le mil décortiqué ($p = 0,005 < 0,05$). En outre, la différence n'est pas significative au seuil de risque $\alpha = 0,05$ entre *T. castaneum* dans le mil décortiqué et *T. castaneum* dans le mil entier ($p = 0,052 > 0,05$) de même qu'entre la farine de mil et le mil brisé ($p = 0,06 > 0,05$). Ces mêmes résultats sont retrouvés entre le mil brisé et le mil entier ($p = 0,07 > 0,05$).

Ces résultats sont résumés dans le tableau 23.

Tableau 23 : Comparaison des poids moyens de *T. castaneum* provenant du mil sur les différents supports alimentaires.

	Mil entier	Mil décortiqué	Mil brisé	Farine de mil
Mil entier	-	P = 0,052	P = 0,07	P = 0,48
Mil décortiqué	-	-	P = 0,005 < 0,01**	P = 0,08
Mil brisé	-	-	-	P = 0,06
Farine de mil	-	-	-	-

III.2.1.1.6 Sex-ratio

Le sex-ratio (pourcentage de femelle) est en faveur des mâles de *T. castaneum* aussi bien dans le mil brisé (41,79%) ; le mil décortiqué (36,11%) et la farine de mil (35,48%). Cependant, il y a un nombre important de femelles dans le mil entier (62,96%).

III.2.1.2 Paramètres biodémographiques de *T. castaneum* provenant du maïs sur les quatre substrats

III.2.1.2.1 Cinétique d'apparition des larves

Le nombre moyen de larves de *T. castaneum* observé après dix jours d'expérience décroît progressivement (figure 29). Il est plus important au premier jour d'apparition allant jusqu'à 2,2 sur le mil brisé ; 1,7 sur la farine de mil et 1,5 sur le mil décortiqué. Une légère hausse du nombre moyen de larves à la deuxième journée d'observation sur la farine de mil (2) par rapport à la première journée d'observation (1,7) est aussi notée. Il n'y a pas eu de développement sur le mil entier, d'où l'absence de larves.

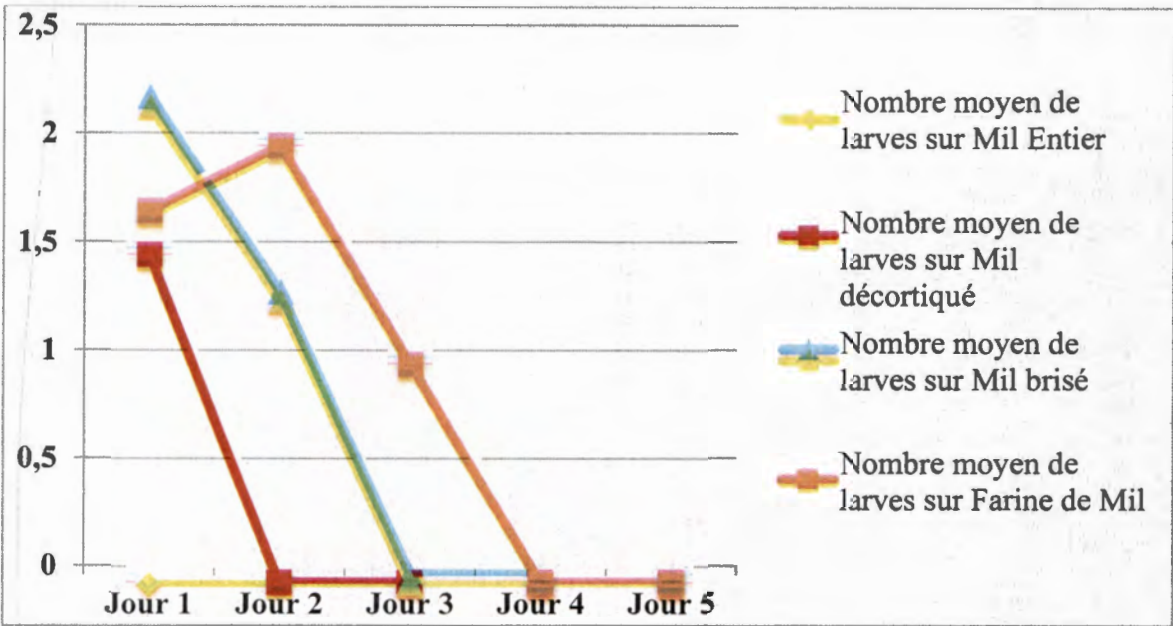


Figure 29: Cinétique d'apparition des larves de *T. castaneum* provenant du maïs sur le mil dans ces quatre états en fonction des jours

III.2.1.2.2 Durée moyenne ponte-nymphé

Nos résultats indiquent que la durée moyenne ponte-nymphé de *T. castaneum* est de $62,45 \pm 6,84$ jours dans la farine de mil ; $57 \pm 6,3$ jours dans le mil brisé et $50,5 \pm 0,5$ jours dans le mil décortiqué. Il n'y a pas eu de développement de *T. castaneum* provenant du maïs sur le mil entier. Même après cinq jours d'infestation, aucun développement n'a été observé. Ainsi, les paramètres biodémographiques ne sont pas déterminés.

Les résultats sont consignés dans le tableau 24.

Tableau 24: Paramètres biodémographiques de *T. castaneum* provenant du maïs sur les quatre états du mil à 24,5 - 31°C et à 41 - 80% H.R.

	Mil Entier	Mil Décortiqué	Mil Brisé	Farine de Mil
Durée moyenne Ponte-Nymphe (jours)	—	50,5 ± 0,5	57 ± 6,3	62,45 ± 6,84
Durée moyenne Nymphe-adulte (jours)	—	6 ± 1	16,4 ± 1,02	16 ± 1,4
Durée moyenne de Développement (jours)	—	56 ± 1,5	73,4 ± 6,5	78,45 ± 6,05
Nombre de larves	—	3	17	30
Nombre d'adultes	—	3	12	26
Taux Fertilité biaisé (%)	—	100	81	90,91
Poids moyens (mg)	—	1,55 ± 0,05	2,04 ± 0,21	1,9 ± 0,21
Sex-ratio (%)	—	33,33	50	38,26

En outre, la différence des durées moyennes ponte-nymphe est significative au seuil de risque $\alpha = 0,05$ entre les *T. castaneum* qui ont bouclé leur cycle sur la farine de mil et ceux bouclant leur cycle sur le mil brisé ($p = 0,021 < 0,05$). Par ailleurs, la durée moyenne ponte-nymphe est hautement significative au seuil de risque $\alpha = 0,05$ entre les *T. castaneum* dans la farine de mil et les *T. castaneum* dans le mil décortiqué ($p = 0,0009 < 0,05$). La différence n'est pas significative au seuil de risque $\alpha = 0,05$ entre les populations de *T. castaneum* ayant bouclé leur cycle dans le mil brisé et ceux ayant évolué dans le mil décortiqué ($p = 0,11 > 0,05$).

Ces résultats sont résumés dans le tableau 25.

Tableau 25: Comparaison des durées moyennes ponte-nymphe de *T. castaneum* provenant du maïs sur les différents supports alimentaires.

	Mil entier	Mil décortiqué	Mil brisé	Farine de mil
Mil entier	-	-	-	-
Mil décortiqué	-	-	P = 0,11	P = 0,0009 < 0,001***
Mil brisé	-	-	-	P = 0,021 < 0,05*
Farine de mil	-	-	-	-

III.2.1.2.3 Durée moyenne nymphe-adulte

La durée moyenne nymphe-adulte est de $16,4 \pm 1,02$ jours dans le mil brisé et $16 \pm 1,4$ jours dans la farine de mil. Cette durée est de 6 ± 1 jours dans le mil décortiqué (tableau 24).

La différence des durées moyennes nymphe-adulte est significative au seuil de risque $\alpha = 0,05$ entre *T. castaneum* dans le mil brisé et *T. castaneum* dans le mil décortiqué ($P = 0,03 < 0,05$; de même que dans la farine de mil et le mil brisé ($P = 0,029 < 0,05$). La différence est hautement significative au seuil de risque $\alpha = 0,05$ entre les individus de *T. castaneum* ayant bouclé leur cycle dans la farine de mil et ceux ayant évolué dans le mil décortiqué ($P = 0,0002 < 0,05$). Les résultats sont résumés dans le tableau 26.

Tableau 26 : Comparaison des durées moyennes nymphe-adulte de *T. castaneum* provenant du maïs sur les différents supports alimentaires.

	Mil entier	Mil décortiqué	Mil brisé	Farine de mil
Mil entier	-	-	-	-
Mil décortiqué	-	-	P = 0,03 < 0,05*	P = 0,0002 < 0,001***
Mil brisé	-	-	-	P = 0,029 < 0,05*
Farine de mil	-	-	-	-

III.2.1.2.4 Durée moyenne de développement

La durée moyenne du cycle de développement de *T. castaneum* provenant du maïs est de $78,45 \pm 6,05$ jours dans la farine de mil ; $73,4 \pm 6,5$ jours dans le mil brisé et $56,5 \pm 1,5$ jours dans le mil décortiqué (tableau 24).

La différence est significative au seuil de risque $\alpha = 0,05$ entre les *T. castaneum* qui ont bouclé leur cycle sur la farine de mil et ceux bouclant leur cycle sur le mil brisé ($p = 0,02 < 0,05$). La comparaison des durées moyennes de développement entre les populations de *T. castaneum* dans la farine de mil et *T. castaneum* dans le mil décortiqué, révèle une valeur de $p = 0,0009 < 0,05$. La différence entre les durées moyennes de développement des populations de *T. castaneum* issues de la farine de mil et le mil décortiqué est hautement significative au seuil de risque $\alpha = 0,05$. La différence n'est pas significative au seuil de risque $\alpha = 0,05$ entre les individus de *T. castaneum* ayant bouclé leur cycle dans le mil brisé et ceux ayant évolué dans le mil décortiqué ($p = 0,08 > 0,05$).

Ces résultats sont consignés dans le tableau 27.

Tableau 27 : Comparaison des durées moyennes de développement de *T. castaneum* provenant du maïs sur les différents supports alimentaires.

	Mil entier	Mil décortiqué	Mil brisé	Farine de mil
Mil entier	-	-	-	-
Mil décortiqué	-	-	P = 0,08	P = 0,0006 < 0,001***
Mil brisé	-	-	-	P = 0,02 < 0,05*
Farine de mil	-	-	-	-

III.2.1.2.5 Nombre de larves, d’adultes et taux de fertilité biaisé

Le nombre de larves pour *T. castaneum* provenant du maïs est plus important dans la farine de mil (30 larves) avec 26 adultes émergés. Sur le mil brisé, il y a eu 17 larves pour 12 adultes émergés et dans le mil décortiqué, il y a 3 larves qui se sont tous développées correctement pour donner 3 adultes (tableau 24).

Le taux de fertilité biaisé est de 100% sur le mil décortiqué, 90,91% sur la farine de mil et le plus faible taux est observé sur le mil brisé avec 81% (tableau 24).

III.2.1.2.6 Poids moyen des adultes

Le poids moyen des *T. castaneum* émergés sur le mil brisé est de $2,04 \pm 0,21$ mg ; dans la farine de mil il est de $1,9 \pm 0,21$ mg et $1,55 \pm 0,05$ mg dans le mil décortiqué (tableau 24).

La différence des poids moyens est hautement significative au seuil de risque $\alpha = 0,05$ entre les *T. castaneum* qui ont bouclé leur cycle sur la farine de mil et ceux bouclant leur cycle sur le mil décortiqué ($p = 0,0007 < 0,05$). En outre, la différence n’est pas significative au seuil de risque $\alpha = 0,05$ entre les *T. castaneum* dans le mil brisé et les *T. castaneum* dans le mil décortiqué ($p = 0,084 > 0,05$). La comparaison des poids moyens entre les populations de *T. castaneum* dans la farine de mil et les *T. castaneum* dans le mil brisé, révèle une valeur de $p = 0,04 < 0,05$. La différence entre les poids moyens des populations de *T. castaneum* issues de la farine de mil et le mil brisé est significative au seuil de risque $\alpha = 0,05$. Ces résultats sont résumés dans le tableau 28.

Tableau 28 : Comparaison des poids moyens de *T. castaneum* provenant du maïs sur les différents supports alimentaires.

	Mil entier	Mil décortiqué	Mil brisé	Farine de mil
Mil entier	-	-	-	-
Mil décortiqué	-	-	P = 0,084	P = 0,0007 < 0,001***
Mil brisé	-	-	-	P = 0,04 < 0,05*
Farine de mil	-	-	-	-

III.2.1.2.7 Sex-ratio

Pour le sex-ratio, Il y a presque un équilibre entre mâles et femelles sur le mil brisé. Le nombre de femelles est faible sur la farine de mil avec un sex-ratio de 38,26% et sur le mil décortiqué avec 33,33% comme sex-ratio (tableau 24).

III.2.1.3 Comparaison des paramètres biodémographiques selon les substrats et l'origine de *T. castaneum*

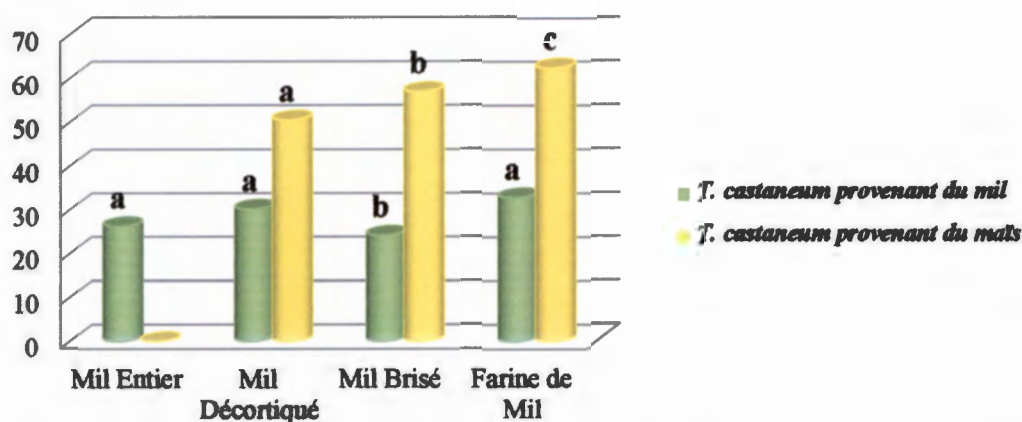
III.2.1.3.1 Durée moyenne ponte-nymphe

Les paramètres biodémographiques varient selon la provenance de *T. castaneum* (figure 30). Dans le mil entier, la durée ponte-nymphe est de $26,22 \pm 2,34$ jours pour *T. castaneum* provenant du mil. Il n'y a pas eu de développement de *T. castaneum* provenant du maïs dans le mil entier même après cinq jours d'infestation.

Dans le mil décortiqué, la durée moyenne ponte-nymphe est de $50,5 \pm 0,5$ jours pour *T. castaneum* provenant du maïs et $30,2 \pm 1,2$ jours pour *T. castaneum* provenant du mil.

La durée moyenne ponte-nymphe dans le mil brisé est de $57 \pm 6,3$ jours pour *T. castaneum* provenant du maïs et $24,17 \pm 1,77$ jours pour *T. castaneum* provenant du mil.

Dans la farine de mil, cette durée est de $62,45 \pm 6,84$ jours pour *T. castaneum* provenant du maïs et $32,88 \pm 1,52$ jours pour *T. castaneum* provenant du mil.



Pour chaque substrat du mil, la même lettre sur les histogrammes montre que les valeurs ne diffèrent pas entre elles au seuil $p < 0.05$ (test de Student).

Figure 30 : Durées moyennes ponte-nymphé de *T. castaneum* en fonction de sa provenance et de la nature du substrat

En outre, dans le mil décortiqué, la différence des durées moyennes ponte-nymphé n'est pas significative au seuil de risque $\alpha = 0,05$ entre *T. castaneum* provenant du mil et *T. castaneum* provenant du maïs ($p = 0,31 > 0,05$) ; de même que dans le mil brisé ($p = 0,48 > 0,05$). En revanche, dans la farine de mil, la différence des durées moyennes ponte-nymphé est significative au seuil de risque $\alpha = 0,05$ entre *T. castaneum* provenant du mil et *T. castaneum* provenant du maïs ($p = 0,02 < 0,05$).

Les résultats sont consignés dans le tableau 29.

Tableau 29: Comparaison des durées moyennes ponte-nymphes de *T. castaneum* en fonction de sa provenance sur les différents supports alimentaires.

	Provenance des insectes comparés	Valeurs de p
Mil entier	<i>T. castaneum</i> Mil, <i>T. castaneum</i> Maïs	-
Mil décortiqué	<i>T. castaneum</i> Mil, <i>T. castaneum</i> Maïs	0,31
Mil brisé	<i>T. castaneum</i> Mil, <i>T. castaneum</i> Maïs	0,48
Farine de mil	<i>T. castaneum</i> Mil, <i>T. castaneum</i> Maïs	0,02*

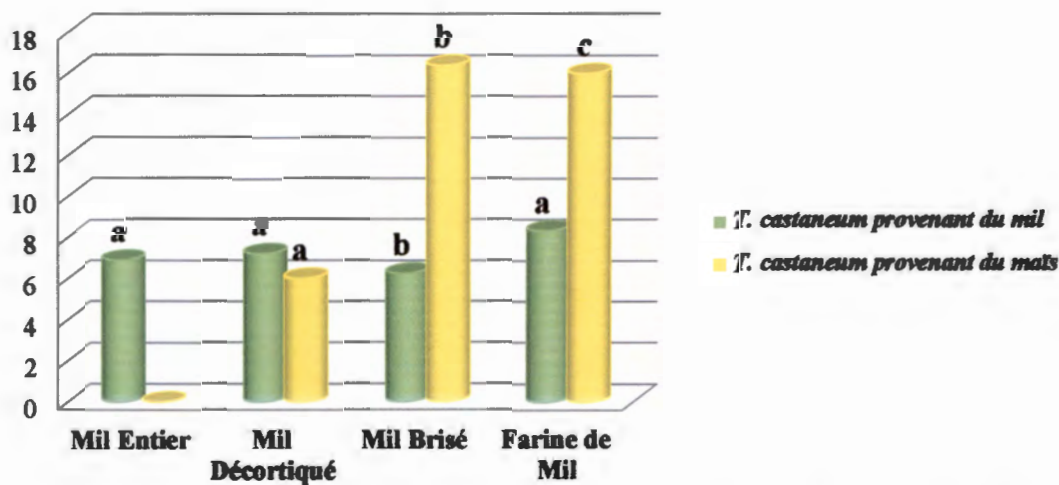
III.2.1.3.2 Durée moyenne nymphe-adulte

Dans le mil entier, la durée nymphe-adulte est de $6,89 \pm 1,09$ jours pour *T. castaneum* provenant du mil (figure 31).

Cette durée dans le mil décortiqué est de $7,2 \pm 0,9$ jours pour *T. castaneum* provenant du mil et 6 ± 1 jours pour *T. castaneum* provenant du maïs.

Dans le mil brisé, la durée nymphe-adulte est de $6,25 \pm 0,72$ jours pour *T. castaneum* provenant du mil et $16,4 \pm 1,02$ jours pour *T. castaneum* provenant du maïs.

En plus, dans la farine de mil, cette durée moyenne est de $8,33 \pm 0,82$ jours pour *T. castaneum* provenant du mil et $16 \pm 1,4$ jours pour *T. castaneum* provenant du maïs (figure 31).



Pour chaque substrat du mil, la même lettre sur les histogrammes montre que les valeurs ne diffèrent pas entre elles au seuil $p < 0.05$ (test de Student).

Figure 31 : Durées moyennes nymphe-adulte de *T. castaneum* en fonction de sa provenance et de la nature du substrat

En plus, dans le mil décortiqué, la différence des durées moyennes nymphe-adulte n'est pas significative au seuil de risque $\alpha = 0,05$ entre *T. castaneum* provenant du mil et *T. castaneum* provenant du maïs ($p = 0,09 > 0,05$) ; de même que dans le mil brisé ($p = 0,41 > 0,05$). Cependant, dans la farine de mil, la différence des durées moyennes nymphe-adulte est

significative au seuil de risque $\alpha = 0,05$ entre *T. castaneum* provenant du mil et *T. castaneum* provenant du maïs ($p = 0,015 < 0,05$).

Les résultats sont résumés dans le tableau 30.

Tableau 30: Comparaison des durées moyennes nymphe-adultes de *T. castaneum* en fonction de sa provenance sur les différents supports alimentaires.

	Provenance des insectes comparés	Valeurs de p
Mil entier	<i>T. castaneum</i> Mil, <i>T. castaneum</i> Maïs	-
Mil décortiqué	<i>T. castaneum</i> Mil, <i>T. castaneum</i> Maïs	0,09
Mil brisé	<i>T. castaneum</i> Mil, <i>T. castaneum</i> Maïs	0,41
Farine de mil	<i>T. castaneum</i> Mil, <i>T. castaneum</i> Maïs	0,015*

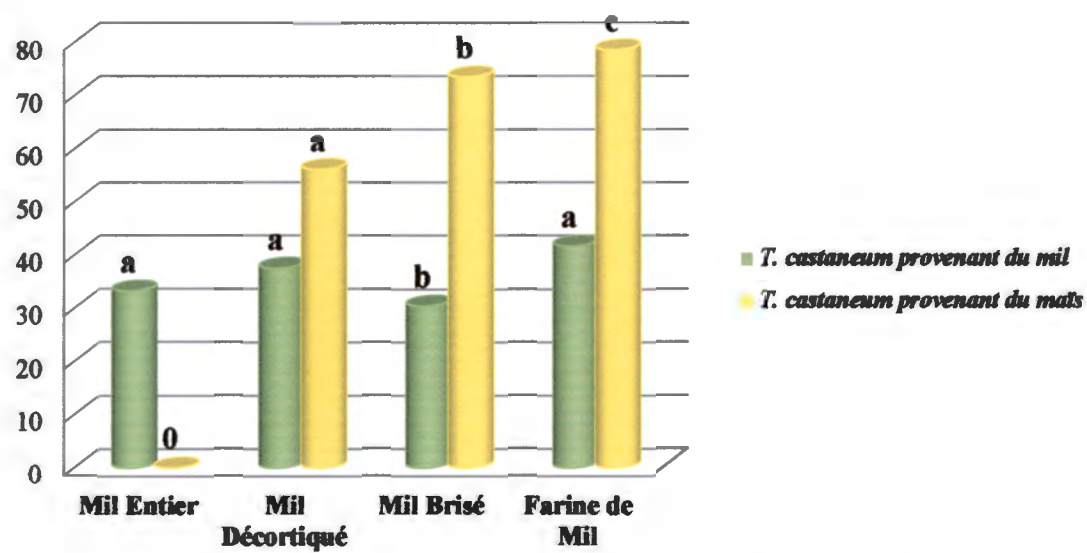
III.2.1.3.3 Durée moyenne de développement

La durée moyenne de développement dans le mil entier est de $33,11 \pm 3,21$ jours pour *T. castaneum* provenant du mil (figure 32).

Dans le mil décortiqué, la durée moyenne de développement est $56,5 \pm 1,5$ jours pour *T. castaneum* provenant du maïs et $37,4 \pm 1,9$ jours pour *T. castaneum* provenant du mil.

Ainsi, la durée moyenne de développement dans le mil brisé est de $73,4 \pm 6,5$ jours pour *T. castaneum* provenant du maïs et $30,42 \pm 2,02$ jours pour *T. castaneum* provenant du mil.

Dans la farine de mil, cette durée est de $78,45 \pm 6,05$ jours pour *T. castaneum* provenant du maïs et $41,55 \pm 2,54$ jours pour *T. castaneum* provenant du mil (figure 32).



Pour chaque substrat du mil, la même lettre sur les histogrammes montre que les valeurs ne diffèrent pas entre elles au seuil $p < 0.05$ (test de Student).

Figure 32 : Durées moyennes de développement de *T. castaneum* en fonction de sa provenance et de la nature du substrat

En plus, dans le mil décortiqué, la différence des durées moyennes de développement n'est pas significative entre *T. castaneum* provenant du mil et *T. castaneum* provenant du maïs ($p = 0,26 > 0,05$) de même que dans le mil brisé ($p = 0,49 > 0,05$). Cependant, dans la farine de mil, la comparaison des durées moyennes de développement entre les populations de *T. castaneum* provenant du mil et *T. castaneum* provenant du maïs, révèle une valeur de $p = 0,02 < 0,05$. La différence entre les durées moyennes de développement est significative au seuil de risque $\alpha = 0,05$.

Les résultats sont consignés dans le tableau 31.

Tableau 31: Comparaison des durées moyennes de développement de *T. castaneum* en fonction de sa provenance sur les différents supports alimentaires.

	Provenance des insectes comparés	Valeurs de p
Mil entier	<i>T. castaneum</i> Mil, <i>T. castaneum</i> Maïs	-
Mil décortiqué	<i>T. castaneum</i> Mil, <i>T. castaneum</i> Maïs	0,26
Mil brisé	<i>T. castaneum</i> Mil, <i>T. castaneum</i> Maïs	0,49
Farine de mil	<i>T. castaneum</i> Mil, <i>T. castaneum</i> Maïs	0,02*

III.2.1.3.4 Nombre de larves, d’adultes et taux de fertilité biaisé

Pour *T. castaneum* provenant du mil, le nombre de larves est de 73 dans le mil entier pour 69 adultes émergés. Le taux de fertilité biaisé est de 91%.

Sur le mil décortiqué le nombre de larves est plus important pour *T. castaneum* provenant du mil (36 larves) que pour *T. castaneum* provenant du maïs (3 larves). Toutes ces larves ont émergés pour donner des adultes. Ainsi, le taux de fertilité biaisé est de 100% aussi bien pour *T. castaneum* provenant du maïs que pour *T. castaneum* provenant du mil.

Le nombre de larves dans le mil brisé est plus important pour *T. castaneum* provenant du mil (77 larves) que pour *T. castaneum* provenant du maïs (17 larves). Ainsi pour *T. castaneum* provenant du mil toutes les larves ont émergé (77 adultes) d’où un taux de fertilité biaisé de 100%. Par contre, pour *T. castaneum* provenant du maïs, 12 adultes sur les 17 larves ont émergé et le taux de fertilité biaisé est de 81%.

Dans la farine de mil, sur les 45 larves dénombrées pour *T. castaneum* provenant du mil, seules 39 adultes ont émergé, d’où un taux de fertilité biaisé de 84,31%. Par contre, pour *T. castaneum* provenant du maïs, 26 adultes ont émergé sur les 30 larves ; d’où un taux de fertilité biaisé plus élevé (90,91%).

Les résultats sont consignés dans le tableau 32.

Tableau 32 : Comparaison des nombres de larves, d’adultes et du taux de fertilité biaisé de *T. castaneum* en fonction de sa provenance et de la nature du substrat

		Nombre de larves	Nombre d’adultes	Taux de fertilité biaisé
Mil Entier	<i>T. castaneum</i> provenant du mil	73	69	91%
	<i>T. castaneum</i> provenant du maïs	—	—	—
Mil Décortiqué	<i>T. castaneum</i> provenant du mil	36	36	100%
	<i>T. castaneum</i> provenant du maïs	3	3	100%
Mil Brisé	<i>T. castaneum</i> provenant du mil	77	77	100%
	<i>T. castaneum</i> provenant du maïs	17	12	81%
Farine de Mil	<i>T. castaneum</i> provenant du mil	45	39	84,41%
	<i>T. castaneum</i> provenant du maïs	30	26	90,91%

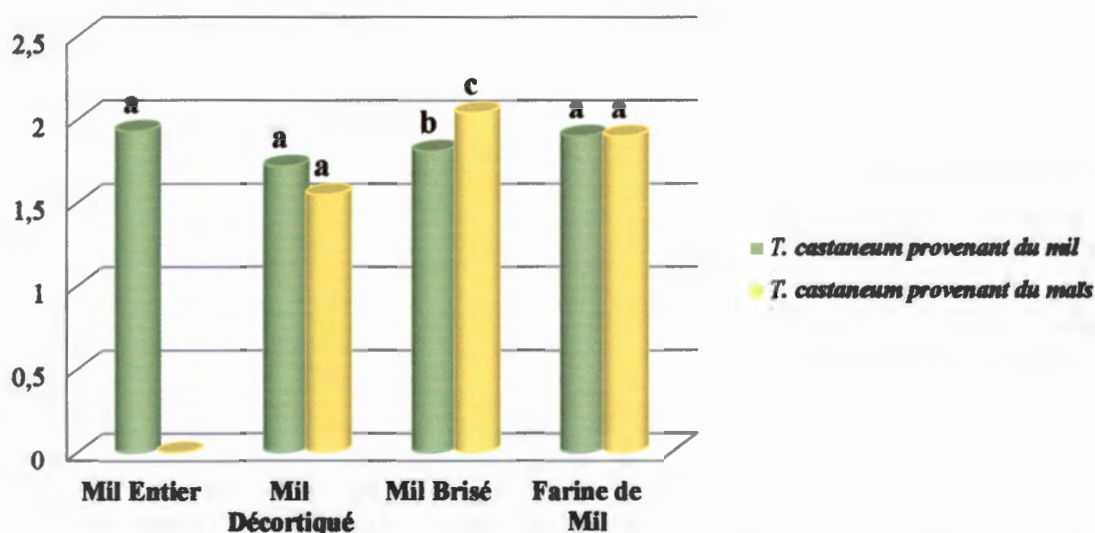
II.2.1.3.5 Poids moyen des adultes

Nos résultats indiquent que le poids moyen de *T. castaneum* est de $1,93 \pm 0,11$ mg dans le mil entier pour *T. castaneum* provenant du mil (figure 33).

Dans le mil décortiqué, le poids moyen des insectes est $1,72 \pm 0,12$ mg pour *T. castaneum* provenant du mil et $1,55 \pm 0,05$ mg pour *T. castaneum* provenant du maïs.

Le poids moyen des insectes dans le mil brisé est $2,04 \pm 0,21$ mg pour *T. castaneum* provenant du maïs et $1,81 \pm 0,09$ mg pour *T. castaneum* provenant du mil.

Dans la farine de mil, le poids des insectes émergés est de $1,9 \pm 0,21$ mg pour *T. castaneum* provenant du maïs et $1,9 \pm 0,1$ mg pour *T. castaneum* provenant du mil (figure 33).



Pour chaque substrat du mil, la même lettre sur les histogrammes montre que les valeurs ne diffèrent pas entre elles au seuil $p < 0.05$ (test de Student).

Figure 33 : Poids moyen de *T. castaneum* en fonction de sa provenance et de la nature du substrat

En outre, dans le mil décortiqué, la différence des poids moyens n'est pas significative entre *T. castaneum* provenant du mil et *T. castaneum* provenant du maïs ($p = 0,11 > 0,05$) ; de même que dans la farine de mil ($p = 0,28 > 0,05$). En revanche, dans le mil brisé, il est à noter

que la différence des poids moyens des insectes émergés est très significative entre *T. castaneum* provenant du mil et *T. castaneum* provenant du maïs ($p = 0,006 < 0,05$).

Les résultats sont résumés dans le tableau 33.

Tableau 33 : Comparaison des poids moyens de *T. castaneum* en fonction de sa provenance sur les différents supports alimentaires.

	Provenance des insectes comparés	Valeurs de p
Mil entier	<i>T. castaneum</i> Mil, <i>T. castaneum</i> Maïs	-
Mil décortiqué	<i>T. castaneum</i> Mil, <i>T. castaneum</i> Maïs	0,11
Mil brisé	<i>T. castaneum</i> Mil, <i>T. castaneum</i> Maïs	0,006**
Farine de mil	<i>T. castaneum</i> Mil, <i>T. castaneum</i> Maïs	0,028

III.2.1.3.6 Sex-ratio

Dans le mil entier, le sex-ratio est en faveur des femelles pour *T. castaneum* provenant du mil (62,96%).

Cependant, il y a un nombre important de mâles dans le mil décortiqué quel que soit la provenance de *T. castaneum*.

Dans le mil brisé, le nombre de mâles et de femelles sont presque égaux pour *T. castaneum* provenant du maïs. Par contre, il y a plus de mâle chez *T. castaneum* provenant du mil avec un sex-ratio de 41,79%.

Dans la farine de mil, le sex-ratio est en faveur des mâles quel que soit la provenance de *T. castaneum*. Mais, le nombre de mâles reste plus important pour *T. castaneum* provenant du mil (35,48%) que pour *T. castaneum* provenant du maïs avec un sex-ratio de 38,26%.

Les résultats sont consignés dans le tableau 34.

Tableau 34: Comparaison du Sex-ratio de *T. castaneum* en fonction de sa provenance et de la nature du substrat

		Nombre de mâle	Nombre de femelle	Sex-ratio (%)
Mil Entier	<i>T. castaneum</i> provenant du mil	20	34	62,96
	<i>T. castaneum</i> provenant du maïs	—	—	—
Mil Décortiqué	<i>T. castaneum</i> provenant du mil	23	13	36,11
	<i>T. castaneum</i> provenant du maïs	2	1	33,33
Mil Brisé	<i>T. castaneum</i> provenant du mil	39	28	41,79
	<i>T. castaneum</i> provenant du maïs	6	6	50
Farine de Mil	<i>T. castaneum</i> provenant du mil	20	11	35,48
	<i>T. castaneum</i> provenant du maïs	16	10	38,26

III.2.2 Discussion

Le but spécifique de cette étude est de déterminer, l'effet des différents substrats du mil (entier, décortiqué, brisé et farine) sur les capacités de développement de *T. castaneum*, à la température et à l'humidité relative ambiante. C'est pour cette raison qu'il a été effectué des infestations contrôlées de *T. castaneum* provenant du mil d'une part et du maïs d'autre part, afin de suivre l'évolution des paramètres biodémographiques.

Les résultats obtenus pour *T. castaneum* provenant du mil montrent que le nombre moyen de larves est plus important au premier jour d'observation allant jusqu'à 5,66 sur le mil brisé ; 5,2 sur le mil décortiqué ; 4,22 sur le mil entier et 3,33 sur la farine de mil. Ce nombre diminue allant jusqu'à s'annuler à la troisième journée d'apparition dans le mil brisé et à la quatrième journée d'apparition dans le mil décortiqué et la farine de mil. Alors que dans le mil entier, ce nombre moyen de larves augmente à la troisième journée d'apparition puis diminue jusqu'à s'annuler à la cinquième journée. Ce constat montre que le mil entier est favorable au développement de *T. castaneum*. Mais, selon Delobel et Tran, (1993) *T. castaneum* n'attaque pas les grains intacts mais des lésions microscopiques suffisent pour permettre à l'insecte d'entamer le grain. Ce qui est différent de nos résultats car les boîtes qui renfermaient du mil entier ont donné plus d'émergence de larves que celles renfermant du mil décortiqué et farine de mil. Ainsi, ce niveau d'infestation larvaire noté sur le mil entier est suffisant pour nuancer l'idée de Roorda *et al.* (1982) selon laquelle, l'insecte est incapable d'attaquer les grains entiers.

Par ailleurs, la différence des durées moyennes nymphe-adulte et des durées moyennes de développement est significative entre *T. castaneum* sur mil brisé et *T. castaneum* sur mil décortiqué. Il apparaît que la durée moyenne du cycle de développement de *T. castaneum* dépend à la fois de l'humidité, de l'état du support alimentaire (mil décortiqué ou mil brisé) et de la protection du grain. Le développement de *T. castaneum* est plus rapide dans le mil brisé ($30,42 \pm 2,02$ jours) que dans le mil décortiqué ($37,4 \pm 1,9$ jours). En effet La protection du grain a été mise en évidence par Seck *et al.* (1992), qui selon eux, les brisures sur les grains de mil favorisent le développement de *T. castaneum*. En revanche, le ralentissement du développement de *T. castaneum* dans le mil décortiqué peut s'expliquer par le fait que pendant le décortiquage, le son et une partie du germe sont éliminés (Afrique Vert et INRAN, 2007). Ceci entraîne une diminution de la valeur énergétique donc un ralentissement du

développement de l'insecte. Aussi, Delobel et Tran, (1993) affirment que chez *T. castaneum*, seul le germe est consommé la plupart du temps, donc son élimination pourrait entraîner un ralentissement du développement de l'insecte.

En plus, le nombre de larves est plus important dans le mil brisé, ces larves ont toutes émergé pour donner 77 adultes, d'où un taux de fertilité biaisé de 100%, de même que dans le mil décortiqué où nous avons dénombré moins de larves (36) et le taux de fertilité biaisé est de 100%. Dans le mil entier, le nombre de larves est important mais avec un taux de fertilité biaisé de 91%, car il y a eu 69 adultes qui ont émergé sur les 73 larves. Ce taux de fertilité biaisé est plus petit dans la farine de mil (84,31%) où 39 adultes ont émergé sur les 45 larves. Ces résultats sont acceptables pour différencier ceux de Goergen *et al.* (2005) qui ont signalé *T. castaneum* comme ravageur de type secondaire. En effet, *T. castaneum* a été longtemps classé parmi les ravageurs secondaires mais la commission canadienne des grains (CCG) l'a classé actuellement dans le groupe des ravageurs primaires.

Par ailleurs, la différence des poids moyens est très significative entre les *T. castaneum* qui ont bouclé leur cycle dans le mil brisé et les *T. castaneum* bouclant leur cycle dans le mil décortiqué. En effet, le poids moyen des insectes dans le mil brisé ($1,81 \pm 0,09$ mg) est supérieur à celui obtenu dans le mil décortiqué ($1,72 \pm 0,12$ mg). En effet, la croissance pondérale des insectes dépend de l'état du mil. En effet, il faut rappeler que pour le mil brisé c'est du mil entier, non décortiqué et brisé à 50% donc il renferme les mêmes éléments nutritifs que le mil entier. En plus, selon Vanier (2005) les principaux composants du grain de mil entier sont le germe, le son et l'endosperme. Comparé au germe des autres céréales, celui du mil occupe une plus grande proportion du grain entier. Puisqu'une grande part des nutriments (vitamines, minéraux, protéines et lipides) est contenue dans le germe, cela confère au mil entier une bonne valeur nutritive. Mais, la teneur et la disponibilité de la plupart de ces nutriments sont diminuées par le décortiquage et les différents procédés de raffinage du grain.

En ce qui concerne le sex-ratio, il est resté globalement en faveur des mâles dans le mil décortiqué, mil brisé et farine de mil. Par contre, dans le mil entier, il est en faveur des femelles (62,96%). Nous pouvons dire que les femelles l'emportent sur les mâles et tendent à avoir une certaine domination dans l'infestation du mil entier, ce qui pourrait accentuer l'infestation au moment du stockage puis qu'il y aura plus d'œufs pondus d'où l'importance des dégâts.

T. Castaneum provenant du mil est donc capable de se développer sur le mil entier, le mil décortiqué, le mil brisé et la farine de mil et ceci dès le stockage.

Les résultats obtenus pour *T. castaneum* provenant du maïs montrent que le nombre moyen de larves de *T. castaneum* est plus important au premier jour d'apparition allant jusqu'à 2,2 dans le mil brisé, 1,7 dans la farine de mil et 1,5 dans le mil décortiqué. Ce nombre diminue au deuxième et troisième jour allant jusqu'à s'annuler à la deuxième journée dans le mil décortiqué et à la troisième journée dans le mil brisé. Alors que, dans la farine de mil ce nombre moyen de larves augmente à la deuxième journée, il diminue au troisième jour allant jusqu'à s'annuler à partir de la quatrième journée. Il faut rappeler qu'il n'y a pas eu de développement dans le mil entier. En effet, l'origine de *T. castaneum* pourrait avoir une influence sur le développement de cet insecte dans le mil entier, car *T. castaneum* provenant du maïs semble avoir un problème d'adaptation dans le mil entier.

Pour les durées moyennes ponte-nymphe, nous avons une différence hautement significative entre *T. castaneum* dans la farine de mil et *T. castaneum* dans le mil décortiqué. Aussi, cette différence de la durée moyenne ponte-nymphe est significative entre *T. castaneum* dans la farine de mil et *T. castaneum* dans le mil brisé. Il en est de même pour les durées moyennes nymphe-adulte et les durées moyennes de développement. Ainsi, la durée moyenne de développement est plus longue dans la farine de mil ($78,45 \pm 6,05$ jours) que dans le mil brisé ($73,4 \pm 6,5$ jours) et le mil décortiqué ($56 \pm 1,5$ jours). En effet, la température n'étant pas fixe durant nos expériences ce qui pourrait accentuer les différences notées. Car, la température aussi agit sur la durée du cycle de développement des insectes. Ainsi, selon Kafka, (2009) une température de 32°C accélère la durée de développement embryonnaire (3 jours) de *T. castaneum*, 25°C ralentit le développement embryonnaire (7 jours) et pour une température de 23°C et 18°C , les embryons ne se développent pas, les larves qui éclosent ne se développent pas, les adultes survivent mais ont besoin de température plus élevée durant une semaine pour produire à nouveau la progéniture normale. En revanche, nous pouvons penser que les durées moyennes de développement peuvent différer significativement entre *T. castaneum* dans la farine de mil et *T. castaneum* dans le mil brisé car, selon Mbengue, (1985) la farine de mil et le mil brisé renferme 30 à 35% d'eau ce qui pourrait avoir une influence sur les durées moyennes de développement des *T. castaneum* provenant du maïs. Cette différence pourrait aussi être due au fait que les *T. castaneum* utilisés sont issus du maïs et pourraient avoir du mal à s'adapter et à se développer rapidement sur les différents substrats du mil. Aussi, la

transformation des grains en farine réduirait l'humidité dont la faible teneur constitue un facteur limitant pour le développement de cet insecte. En plus, Diome *et al.* (2015), ont montré que le cycle de développement de *T. castaneum* peut différer entre populations inféodées dans une même céréale et que la différenciation génétique y jouerait un rôle très important.

Trois larves ont été dénombrées sur le mil décortiqué, ces larves ont tous émergé pour donner trois adultes d'où un taux de fertilité biaisé de 100%. Le plus grand nombre de larves a été noté dans la farine de mil avec un taux de fertilité biaisé de 90,91%. En effet, dans la farine de mil nous avons une plus grande superficie de contact et utilisation facile des éléments nutritifs du fait de l'élimination des enveloppes et la réduction du grain en particules fines. Aussi, nous avons plus de mortalité larvaire dans le mil brisé d'où un taux de fertilité biaisé de 81%. Ces résultats sont différents de ceux de Seck *et al.* (1992) qui rapportent qu'une augmentation du taux de brisure dans le substrat réduit la mortalité larvaire.

Par ailleurs, la croissance pondérale des insectes dépend en premier lieu de la nature du support alimentaire et de la protection des grains. En effet, suivant nos résultats, ces phénomènes sont plus importants sur le mil brisé. La différence des poids moyens est significative entre les individus de *T. castaneum* qui ont bouclé leur cycle dans la farine de mil et les individus de *T. castaneum* bouclant leur cycle dans le mil brisé. Le poids de *T. Castaneum* est plus important dans le mil brisé que dans la farine de mil. Dans ce cas, il faut noter que les dégâts sont plus importants dans le mil brisé. Ces résultats concordent avec ceux de Bekon et Fleurat-Lessard, (1989) qui ont expliqué que *T. castaneum* cause plus de dégâts sur le mil brisé ou sur des grains de mil entier auparavant troués par des ravageurs primaires.

Le sex-ratio est resté globalement en faveur des mâles pour les *T. castaneum* provenant du maïs quel que soit l'état du mil. Mais, il faut noter qu'il y a un équilibre entre les mâles et les femelles dans le mil brisé et ceci pourrait intensifier l'infestation lors du stockage.

T. castaneum provenant du maïs pourrait avoir des problèmes d'adaptation dans le mil entier. Mais, il est capable de se développer sur le mil décortiqué, brisé ou transformé en farine. Et aussi durant le stockage *T. castaneum* peut passer du maïs aux différents états du mil.

Cependant, en comparant les paramètres biodémographiques entre *T. castaneum* provenant du mil et *T. castaneum* provenant du maïs, le constat est que dans la farine de mil, il y a une différence significative entre *T. castaneum* provenant du mil et *T. castaneum* provenant du maïs pour les durées moyennes ponte-nymphe, nymphe-adulte et de développement. Ainsi, dans la farine de mil, la durée moyenne de développement est plus importante pour *T. castaneum* provenant du maïs ($78,45 \pm 6,05$ jours) que pour *T. castaneum* provenant du mil ($41,55 \pm 2,54$ jours). En effet, les insectes se sont développés sur le même support alimentaire qui est la farine de mil et celle-ci renferme les mêmes éléments nutritifs. Donc l'origine de *T. castaneum* semble avoir une influence sur le développement de l'insecte. En plus, pour le nombre de larves, le constat est qu'il y a une différence significative en faveur des *T. castaneum* issus du mil quel que soit l'état du mil à l'exception du mil entier. En effet, *T. castaneum* est un coléoptère capable de se développer sur plusieurs céréales (Delobel et Tran, 1993). Ainsi, il a été noté que l'origine de *T. castaneum* influe aussi bien sur le développement de l'insecte mais aussi sur le nombre d'émergence de larves et d'adultes. Dans ce cas, il a été noté une certaine préférence de *T. castaneum* pour le mil particulièrement quand ce dernier y provient. En effet, Sembène et Delobel, (2004) travaillant sur le déterminisme du choix du substrat de ponte par des souches du Bruche de l'arachide *Caryedon serratus*, issues d'hôtes différents, ont montré que les souches évoluent selon le principe de sélection d'hôte de Hopkins puisque la ponte se fait de manière privilégiée sur la plante d'où est issue la femelle. Ainsi, selon ce principe de Hopkins (1917), cité par Sembène et Delobel, (2004) certains insectes polyphages se développent au dépens de plusieurs hôtes, auraient tendance à pondre sur la même plante que celle où elles ont effectué leur développement. Il se produirait chez les femelles pondeuses, au stade larvaire, une mémorisation du substrat de ponte qui serait conservée chez l'adulte après nymphose. C'est ce qui explique dans ce cas, un nombre plus important de larves et d'adultes sur les différents substrats du mil pour *T. castaneum* provenant du mil par rapport aux *T. castaneum* issus du maïs.

En ce qui concerne le poids moyen des insectes, il y a une différence significative entre *T. castaneum* provenant du mil et *T. castaneum* provenant du maïs dans le mil brisé. Cette différence de poids moyen n'est pas significative dans le mil décortiqué et la farine de mil. En effet, dans le mil brisé le poids moyen est plus important pour *T. castaneum* provenant du maïs ($2,04 \pm 0,21$ mg) que pour *T. castaneum* issus du mil ($1,81 \pm 0,09$ mg). Ainsi, on peut

dire que l'origine de *T. castaneum* peut influencer le devenir du poids des insectes. Par ailleurs, Gueye *et al.* (2012), travaillant sur des *T. Castaneum* issus du mil, ont montré que ces derniers sont capables de se développer dans les grains de maïs et de mil dès leur stockage. En plus, ces *T. castaneum* élevés sur le maïs ont un poids moyen supérieur aux *T. castaneum* qui se sont développés dans le mil. Aussi, selon ces auteurs *T. castaneum* est capable de passer du mil au maïs.

Dans le mil décortiqué et la farine de mil, le sex-ratio est en faveur des mâles quel que soit la provenance de *T. castaneum* avec un pourcentage de mâle plus important chez les *T. castaneum* provenant du maïs. Le sex-ratio est en faveur des mâles dans le mil brisé quel que soit l'origine de *T. castaneum* avec un nombre de mâles plus important pour *T. castaneum* provenant du mil. Ici, on aura probablement une compétition entre les mâles sur les femelles disponibles. Aussi, cela nous permet-il de dire que le sex-ratio est toujours en faveur des mâles quel que soit la provenance de *T. castaneum* ?

CONCLUSION

Au terme de cette étude, nous pouvons confirmer que *T. castaneum* est un ravageur primaire du mil. En plus, l'état du mil influe sur le développement de *T. castaneum* provenant du mil et que ce dernier est donc capable de se développer sur tous les états du mil (entier, décortiqué, brisé et farine).

Le mil semble résistant aux attaques de *T. castaneum* provenant du mil ou du maïs quand il est décortiqué ou transformé en farine. Ainsi, pour limiter l'infestation de *T. castaneum* sur la farine de mil on peut le garder sur le même lieu de stockage que le maïs.

Mais compte tenu des pertes quantitatives causées par l'insecte, pertes pouvant s'amplifier sur une longue période et de l'ampleur des dégâts qualitatifs, il faut considérer *T. castaneum* comme un insecte véritablement nuisible qui doit faire l'objet d'une lutte rationnelle pour protéger les grains lors du stockage et de la conservation.

Ainsi, à la lumière de cette étude, il peut être dégagé des perspectives afin de contribuer à l'amélioration des conditions de stockage du mil. Les études futures s'orientent vers les axes suivants:

- Déterminer l'influence de *T. castaneum* sur la qualité des substrats au cours du temps.
- Evaluer l'importance des dégâts causés par cet insecte dans le mil sur toute l'étendue du pays en relation avec les variations climatiques.

CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS

Dans la recherche de stratégies en vue de réduire les pertes post-récoltes de maïs et de mil, deux des plus importantes céréales cultivées au Sénégal, des études ont été menées en vue de contribuer à la sécurité alimentaire et à la réduction de la pauvreté des populations du Sénégal. En effet, le contrôle de ces ravageurs est déterminant dans la lutte contre les insectes ravageurs des denrées stockées. Cependant, une bonne réussite des actions entreprises contre ces populations nécessite une meilleure connaissance des insectes (*S. oryzae*, *S. zeamais* et *T. castaneum*) infestant ces céréales. C'est ainsi que nous avons mis en place une étude sur leur développement afin de suivre l'évolution des paramètres biodémographiques pour extraire le maximum d'informations sur ces ravageurs. Ces études sont basées sur des infestations contrôlées de *T. castaneum*, *S. oryzae* et de *S. zeamais* sur le maïs et le mil (entier, décortiqué, brisé et farine) afin de suivre la progression de certains paramètres biodémographiques. Ainsi, nous avons entrepris d'observer certains paramètres biodémographiques tels que la cinétique d'émergence des larves ou des adultes, la durée moyenne des différents stades de développement, l'importance de la descendance, le poids moyen des insectes adultes, le nombre de larves et le sex-ratio des descendants. Nos résultats révèlent que pour la cinétique d'émergence des adultes de *S. zeamais*, l'émergence s'est faite de manière variable sur les différentes formulations du maïs. Ces différences sur la vitesse d'apparition seraient liées à la spécificité des individus dans chaque support alimentaire. Aussi, il y a eu moins d'adultes dans le maïs entier par rapport au maïs décortiqué et brisé. L'effectif de la descendance donne l'impression de dépendre de la résistance que le grain oppose à l'insecte. En effet, l'état du maïs (entier, décortiqué ou brisé) semble ne pas agir sur la durée de développement de *S. zeamais*. Aussi, la différence des poids moyens n'est pas significative entre les *S. zeamais* qui se sont développés dans le maïs entier, le maïs décortiqué et le maïs brisé. Le sex-ratio est resté globalement en faveur des mâles de *S. zeamais*, ce qui serait susceptible de réduire l'infestation lors du stockage. Donc, *S. zeamais* est un ravageur primaire capable de se développer sur le maïs entier, le maïs décortiqué et le maïs brisé. Mais, la farine de maïs semble ne pas être favorable au développement de *S. zeamais*. Pour *S. oryzae* issus du mil sur les quatre substrats du maïs, le constat est que l'émergence s'est faite de manière variable sur les différents supports alimentaires. En plus, le nombre d'adultes émergés est plus important dans le maïs brisé. Ainsi, il apparaît que le maïs brisé est plus favorable au développement de *S. oryzae*. Par ailleurs, il n'y a pas eu de développement de *S. oryzae* sur la farine de maïs. Il apparaît ainsi clairement que lorsque le grain est de taille importante, le nombre de grains

infestés diminue, ce qui provoque une diminution conséquente du nombre d'adultes. La différence entre les durées moyennes de développement n'est pas significative. Ceci nous a permis de dire que le maïs semble être un support alimentaire favorable au développement de *Sitophilus oryzae*. La nature du substrat paraît ne pas affecter le devenir du poids de l'insecte et le sex-ratio est en faveur des mâles de *S. oryzae*. Ce dernier est capable de se développer sur toutes les formulations du maïs à l'exception de la farine qui semble être plus résistant aux attaques de cet insecte. Par ailleurs une comparaison des paramètres biodémographiques selon l'origine de *Sitophilus*, montre que la différence des durées moyennes de développement n'est pas significative que l'on soit dans le maïs entier brisé ou décortiqué. Ainsi, il y a une certaine préférence de *Sitophilus zeamais* pour le maïs particulièrement quand ce dernier y provient. Cette préférence de *Sitophilus zeamais* pour le maïs pourrait s'expliquer par les propriétés intrinsèques du maïs propice au développement de l'insecte. Pour le poids moyen des adultes, il est aussi intéressant de noter que lorsqu'on s'adresse au même support alimentaire (maïs entier), il y a une différence claire dans le devenir du poids moyen des insectes entre les populations de *S. zeamais* et de *S. oryzae*. En effet, la protection du grain par une enveloppe, limite non seulement le degré d'infestation du grain mais aussi la croissance des insectes infestant ce grain. Nos résultats montrent que pour *S. zeamais* et pour *S. oryzae*, le sex-ratio reste en faveur des mâles quel que soit la formulation du maïs. Donc, le maïs entier, décortiqué ou brisé est favorable au développement de *Sitophilus zeamais* et *Sitophilus oryzae*. Ainsi pour réduire l'infestation de *Sitophilus* sur le maïs il faut le stocker après sa transformation en farine. Par ailleurs, nos résultats ont montré que le *T. castaneum* provenant du mil est capable d'attaquer les grains entiers. En effet, la durée moyenne du cycle de développement de *T. castaneum* dépend à la fois de l'humidité, de l'état du support alimentaire et de la protection du grain. Ainsi, nos résultats ont montré que l'élimination du son et une partie du germe lors du décortilage limite le développement de *T. castaneum* provenant du mil dans le mil décortiqué et la farine de mil. Ceci nous permet de dire que l'état du substrat a un effet notable sur le développement de *T. castaneum*. Le nombre important de larves et d'adultes dans le mil entier nous a permis de confirmer que *T. castaneum* est un ravageur primaire. En plus, la croissance pondérale de ces insectes dépend de l'état du mil. En effet, le poids moyen des insectes dans le mil brisé est supérieur à celui obtenu dans le mil décortiqué. Le sex-ratio est resté globalement en faveur des mâles sauf dans le mil entier où, les femelles l'emportent sur les mâles ; ce qui pourrait accentuer l'infestation au moment du stockage puis qu'il y aura plus d'œufs pondus d'où l'importance des dégâts. Tous ces résultats nous ont permis de dire que *T. Castaneum* provenant du mil est capable de se développer sur

le mil entier, le mil décortiqué, le mil brisé et la farine de mil et ceci dès le stockage. Les résultats obtenus pour *T. castaneum* provenant du maïs montrent qu'il n'y a pas eu de développement de l'insecte dans le mil entier. En effet, l'origine de *T. castaneum* influe sur le développement de cet insecte dans le mil entier. Ces derniers pourront avoir du mal à s'adapter et à se développer rapidement sur les différents substrats du mil. Aussi, la transformation des grains en farine réduirait l'humidité dont la faible teneur constitue un facteur limitant pour le développement de ces insectes. Nous avons, également, noté que le poids de l'insecte est en rapport direct avec la nature du support alimentaire. Le sex-ratio est resté globalement en faveur des mâles pour les *T. castaneum* provenant du maïs quel que soit l'état du mil. Donc, *T. castaneum* issus du maïs pourrait avoir des problèmes d'adaptation dans le mil entier. Mais, il est capable de se développer sur le mil décortiqué, brisé ou transformé en farine. Et aussi durant le stockage *T. castaneum* peut passer du maïs aux différents états du mil. En plus, une comparaison des paramètres biodémographiques entre *T. castaneum* provenant du mil et *T. castaneum* issus du maïs signale que l'origine de *T. castaneum* semble avoir une influence sur le développement de l'insecte. En effet, il y a une certaine préférence de *T. castaneum* pour le mil particulièrement quand ce dernier y provient. Ainsi, les souches évoluent selon le principe de sélection d'hôte de Hopkins puisque la ponte se fait de manière privilégiée sur la plante d'où est issue la femelle. Nous avons, également, noté que l'origine de *T. castaneum* semble influencer sur le devenir du poids des insectes dans le mil brisé. Le mil résiste mieux aux attaques de *T. castaneum* provenant du mil ou du maïs quand il est décortiqué ou transformé en farine. Afin de limiter l'infestation de *T. castaneum* sur la farine de mil il peut être gardé sur le même lieu de stockage que le maïs.

Il ressort de cette étude une nécessité d'un stockage séparé des denrées alimentaires, dans des magasins qui obéissent à des normes d'humidité et de température n'offrant pas la possibilité de multiplication des insectes. La protection des récoltes contre les insectes ravageurs, lors du stockage, soulève des problèmes très complexes. Il n'existe pas de méthode de protection universelle permettant de contrôler les populations d'insectes ravageurs. Compte tenu de la diversité des conditions écologiques, les populations s'adaptent, tandis que leurs cycles subissent des variations. En effet, l'appétence que *Tribolium castaneum* a pour le mil de même que la préférence que *Sitophilus oryzae* et *Sitophilus zeamais* ont pour le maïs devrait inviter à plus de vigilance, lors du stockage de ces denrées. Chaque céréale devrait, dans ces conditions et dans la mesure du possible, être spécialement stockée dans des endroits éloignés

de ceux réservés à la conservation ou au stockage d'une autre denrée. De plus, il serait important de veiller au bon état sanitaire de ces céréales, avant leur stockage.

Nombreuses sont des recherches en cours pour lutter contre ces insectes nuisibles aux cultures tant au champ que dans les systèmes de post-récolte afin de mettre à la table du consommateur un aliment sain. Ainsi Spurgeon disait que *«Le système post-récolte devrait commencer au moment et au lieu de la récolte et se terminer seulement à la table du consommateur. D'un bout à l'autre, il devrait assurer un revenu maximum à tous ceux qui œuvrent, tout en minimisant les pertes et en maximisant les bénéfices»*.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

A

Adedire C. O., Lajide L., (2003). Ability of extracts of ten tropical plant species to protect maize grains against infestation by the maize weevil, *Sitophilus zeamais* during storage. *J. Exp. Biol.* 4(2) :175-179.

Afrique vert & INRAN, (2007). *Règlement et normes des produits transformés à base des céréales.* 15 p.

Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie (ANSD), (2010). *Situation économique et sociale du Sénégal en 2009.* Ministère de l'économie et des finances. 298p

Andrews D. J. & Kumar K. A., (2006). *Pennisetum glaucum* (L.) R.Br. In : Brink, M. & Belay, G. (Editeurs). PROTA 1: Cereals and pulses/Céréales et légumes secs. [CD-Rom]. PROTA, Wageningen, Pays Bas.

Appert J. et Deuse., (1982). External sex difference in stored product *Coleoptera*. *BULL. Entomol. Ress.* 51 : 119-133.

Appert J., (1985). *Stockage des produits vivriers et semenciers Tome 1: Dégâts, pertes et moyens de stockage.* Editions Maisonneuve et Larousse, Paris, France. 225p.

Appert J., (1987). *The Storage of Food grains and Seeds.* The Tropical Agriculturist CTA, Macmillian publishers Ltd. London. 146p.

Asawalam E. F., Emosaire S. O., Hassanali A, (2008). Essential oil of oimun grattissimum (labiaceae) as *Sitophilus zeamais* coleopteres curculionidae / protectant. *African journal of Biotechnologie*, 20. 3771-3776.

B

Balachowsky A. S. et Mensil L., (1936). *Les insectes nuisibles aux plantes cultivées, leurs mœurs et leur destruction.* Ed. Etablissement. BUSSON., Paris, Tome II. 1722 - 1724.

Balachowsky A. S., (1962). *Entomologie appliquée à l'agriculture.* Ed. Masson et CIE, paris, Tome I, 378 - 392.

Baris P. & Demay S., (2009). Analyse des pratiques des projets de développement des cultures vivrières en Afrique de l'Ouest et du Centre. In : *Les cultures vivrières pluviales en Afrique de l'Ouest et du Centre. Éléments d'analyse et propositions pour l'action*. Paris : AFD, CIRAD, FIDA.

Bekon K. & Fleurat Lessard F., (1989). Evaluation des pertes en matière sèche des grains dus à un ravageur secondaire : *Tribolium castaneum* (Herbst), coléoptère Tenebrionidae, lors de la conservation des céréales. *John Libbey Eurotext*, Paris. 97-104.

Bekon K., (1984). *Biologie du développement et comportement alimentaire de Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera : Tenebrionidae) sur les semences de céréales. Thèse de Doctorat Ingénieur. 167 p.

Benneton F., (2010). Quand *Tribolium* complète la génétique de la drosophile. *Médecine /Sciences*, 26.297-303.

Bezançon B., Renno J. F., Kumar K. A., (1985). Le mil In: Westphal E. & Embrechts J., *Cultures vivrières tropicales : avec références spéciale au Cameroun*. PUDOC Wageningen, Pays Bas. 514p.

Bezançon G., Pham J. L., (2004). Ressources génétiques des mils en Afrique de l'Ouest : diversité, conservation et valorisation. IRD et ICRISAT. 9-13.

Bezançon G., Renno J. F, Anand Kumar K., (1997). Experimental study of gene flow between wild and cultivated *Pennisetum glaucum*. *Canadian journal of botany*, 75. 925-931.

Borror D. J., De Long D. M. et Triphorn C. A., (1981). An introduction to the study of insects. *Fifth edition Saunders College Publishing*. 442-454.

Bounechada M. & Arab R., (2011). Effet insecticide des plantes *Melia azedarach L.* et *Peganum harmala L.* sur *Tribolium castaneum* Herbst (Coleoptera : Tenebrionidae), 6p.

C

C.S.A et PAM, (2012). *Marchés et réponses au déficit de production agricole de la campagne 2011/2012 au Sénégal*, 25p.

Camara A., (2009). *Lutte contre Sitophilus oryzae L. (Coléoptères Curculionidae) et Tribolium castaneum Herbst (Coléoptère Tenebrionidae) dans les stocks de riz par la technique d'élevage traditionnelle pratiquée en Basse Guinée et utilisation des huiles essentielles végétales.* Thèse d'obtention du titre de Docteur en Science de l'environnement, Université du Québec à Montréal. 173 p.

Champ B. R. et Dyte C. E., (1976). *Rapport de l'enquête mondiale de la FAO sur les insectes des céréales entreposées et leur sensibilité aux insecticides.* FAO, Rome, 374p.

Chantereau J., Hekimian C. L., Marchand J. L., Ouendeba B., (2002). Les céréales. In : *Mémento de l'agronome*. CIRAD-GRET, 777-829.

CILSS, (1998). *Rapport sur l'évaluation préliminaire de la production céréalière en Afrique de l'Ouest*, 9p.

Cruz J. F., Troude F., Griffon D., Hébert J. P., (1988). *Conservation des graines en régions chaudes.* 2 éd. Coll. Minist. Fr coop et Dév. CEEMAT/CIRAD, Montpellier, 545p.

D

Daan, S, & Tinbergen J. M., (1997). Adaptation of life histories. 311-333 In Krebs J.R. et Davies N.B. (éds.), *Behavioural ecology. An evolutionary approach.* 4e Ed. Blackwell Science, Oxford.

Dabiré C. L. B., Niango M. B., Sanon A., (2008). Effects of crushed fresh *Cleome viscosa* L. (Capparaceae) plants on the cowpea storage pest, *Callosobruchus maculatus* Fab. (Coleoptera: Bruchidae). *Int. J. Pest. Manag.*, 54: 319-326.

Dabre E. E., (2008). *Inventaire et importance des insectes ravageurs du mil (Pennisetum glaucum (L.) R. Br.) en zone sahélienne du Burkina Faso.* Mémoire d'obtention du diplôme d'ingénieur en développement rural, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso (Burkina Faso), 83 p.

Danho M. et Haubruge E., (2003). Comportement de ponte et stratégie reproductive de *Sitophilus zeamais* (coléoptères curculionidae). *Phytoprotection*, 84. 59-67.

Danho M., Alabi T., Haubruge E. and Francis F., (2015). Oviposition strategy of *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera, Curculionidae) in relation to conspecific infestation. *African Journal or Agricultural Research*. 10 (4) : 301- 307.

Danho M., Haubruge E., Gaspar C. et Lognay G., (2000). Sélection des grains-hôtes par *Prostephanus truncatus* (Coleoptera, Bostrychidae) en présence de grains préalablement infestés par *Sitophilus zeamais* (Coleoptera, Curculionidae). *Belg. J. Zool.*, 130 (1) : 3-9.

Delobel A. & Tran M, (1993). *Les coléoptères des denrées alimentaires entreposées dans les régions chaudes*. CTA et ORSTROM, 424 p.

Devautour H. et Nago C. M., (1989). Céréales des régions chaudes. *Aupell Uref*. 168-169.

Diangar S., (1991). *Agronomie / programme mil : Rapport de synthèse*, Centre National de Recherche Agronomique de Bambey. 16p.

Diome T., Thiaw C., Guèye A. C., Ndong A., Sarr M., Diop M., Sembène M., (2015). Biodemographic and live cycle development comparison of three genetic populations of *Tribolium castaneum* Herbst (Coleoptera, Tenebrionidae). *Journal of Applied Biosciences*. 93 : 8727-8735.

Dobie P., (1974). The laboratory assessment of the inherent susceptibility of maize varieties to post-harvest infestation by *Sitophilus zeamais* Motsch. (Coleoptera, Curculionidae). *J. Stored Prod. Res.* 10 : 183-187.

Duguet J. S., (1986). *Protection du maïs en grenier villageois et en crib dans les pays chauds avec la détaméthrine*. IVè Congrès sur la protection de la santé humaine et des cultures en milieu tropical. 128-134.

F

Fall B.N. et al. (2004). Programme national de relance de la filière maïs, volet transformation, valorisation du maïs, technologie action et évaluation économique. Rapport Organisation des Nations Unis pour le Développement Industriel (ONUDI) Dakar : Ministère de l'industrie et de l'artisanat (MIA).

FAO, (1993). *Maïs dans la nutrition humaine : Alimentation et nutrition.* Collection FAO, Rome, Italie, n°25, 26p.

FAO, (1995). *Le sorgho et les mils dans la nutrition humaine.* Collection FAO, n°27, 33 p.

FAO, (1997). *L'économie mondiale du sorgho et du mil : Faits, Tendances et Perspectives.* FAO, Rome, Italie, 66 p.

FAO, (2002). *Système mondiale d'information et d'alerte rapide sur l'environnement et l'agriculture,* 19 p.

FAO, (2003). *Perspectives de l'alimentation,* n°3, 57 p.

FAO, (2008). *La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture.* Collection FAO: Agriculture N°38, FAO, Rome, Italie. ISBN 978-92-5-205750-5.

FAO, (2014). *Sécurité alimentaire et implication humanitaire en Afrique de l'Ouest et du Sahel.* N°54, Note conjointe FAO-PAM, 7p.

Farjan M. A., (1983). Biodynamique en laboratoire de deux insectes ravageurs du blé dur : le charançon du riz *Sitophilus oryzae* (L) (Coleoptera : Curculionidae) et le capucin des grains *Rhizopertha dominica* (F) (Coleoptera : Bostrychidae) avec application aux conditions de conservation en Afrique du Nord. Mémoire d'Ingénieur Agro, I. A. V. Hassan II, Rabat. 109p.

Favier J. C., 1989. Valeur nutritive et comportement des céréales au cours de leurs transformations. In : Céréales des Régions Chaudes : Conservation et transformation. AUPELF-UREF. Ads John LibbeyEurotext, Paris. 97-104.

Fleurat-Lessard F., (1982). «Les insectes et les acariens». In Multon J L., *Conservation et stockage des grains et produits dérivés*, Paris, Lavoisier. Vol. I : 394-436.

Foua-Bi K., (1989). Céréales des régions chaudes : Conservation et transformation. AUPELF-UREF. Ads John Libbey Eurotext, Paris. 97-104.

G

Genest C., Traoré A. & Bamba P., (1990). *Guide pratique : protection des grains entreposés.* Coop. CANADO-BURKINABE .MAE. ACDI, 105p.

Gnanou F, (2006). *Etude de la technologie de transformation et de la qualité nutritionnelle de quelques aliments à base de variétés de mil cultivé au Burkina Faso.* Mémoire de maîtrise des Sciences et Techniques. Université de Ouagadougou, 70p.

Goergen G., Fandoham P., Hell K., Lamboni Y., (2005). *Petit manuel d'identification des principaux ravageurs des denrées stockées en Afrique de l'Ouest.* IITA Cotonou / Bénin, 25p.

Guèye A. C., Diome T., Thiaw C., Ndong A., Guèye A. et Sembène M., (2012). Capacity of biodemographic developpment of *Tribolium castaneum* Herbst (Coleoptera, Tenebrionidae) and *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera, Curculionidae) in stored cereals in Senegal. *South Asian Journal of Experimental Biology.* 2 (3): 108-117.

Guèye M. T., Seck D., Wathelet J. P., Lognay G, (2011). Lutte contre les ravageurs des stocks de céréales et de légumineuses au Sénégal et en Afrique occidentale : synthèse bibliographique. *Biotechnology Agronomy Society and Environment*, 15. 183-194.

Gueye M.T., Seck D., Wathelet J. P., Lognay G., (2012). Typologie des Système de stockage et de conservation du maïs dans l'Est et le Sud du Sénégal. *Biotechnology Agronomy Society and Environment*, 16(1). 49-58.

H

Hoffmann A., (1950). *Faune de France : Coléoptères Curculionidés.* 1ère partie. 3p.

I

I T A, (2008). La protection des stocks de maïs : enquête sur les pratiques d'utilisation des pesticides et des plantes à effet insecticide en milieu paysan. *Bulletin de vulgarisation de la recherche et du développement agro-alimentaire au Sénégal.* (03) :6.

ILO-WEP, (1986). *Le Stockage du Grain.* BIT et ONUDI, 140 p.

INFOCOMM, (2012). Maïs : *Zea mays* L. CNUCED, UE, 8p.

INFOCONSEIL & PAOA, (2006). *Etat des lieux de la filière céréales locales au Sénégal*, Dakar, Sénégal, Gret, Enda graf, SNC Lavalin, Cintech, MAE, CDE, ACIDI, MIA, 54p.

Inge de Groot, (2004). *Protection des céréales et des légumineuses stockées*. Fondation Agromisa, Wageningen, ISBN: 90-77073-88-4. 74p.

INRA, (2003). Les céréales. *INAP-G Departement ager*, 86 p.

Institut Sénégalaise de Recherche Agricole (ISRA), (2008). *État des ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture dans le monde : Contribution du Sénégal au second rapport*. 57 p.

Ishwar S. K., Chandgi R., Ashok K. C., (1990). *Pearl millet : seed production and technology*. Department of Plant breeding. Haryana Agricultural University Hisar Manochar, 224 p.

ISRA, ITA et CIRAD, (2005). *Bilan de la recherche agricole et agroalimentaire au Sénégal*, 241-256.

ISRA-KARTHALA, (2010). *L'agriculture sénégalaise à l'épreuve du marché*, 395 p.

K

Kafka F., (2009). *The Beetle book*. Ed Gregor Brucher, 34p.

Karunakaran C., Jayas D. S., White N. D. G., (2004). Identification of wheat kernels damaged by the red flour beetle using x-ray images. *Biosystems Engineering*, 87(3) : 267-274.

Kébé K., (2013). Diversité génétique, histoire évolutive et bio-écologie de *Callosobruchus maculatus* F. (Coleoptera, Bruchinae) ravageur de graines de niébé (*Vigna unguiculata* Walp). Thèse de Doctorat. Spécialité : Génétique des Populations. Université Cheikh Anta Diop de Dakar Sénégal. 195p.

Kehe M., (1975). *Expérimentation pour la mise au point d'un protocole d'essai de substances insecticides pour la lutte contre les charançons des grains : Sitophilus granarius (L) et Sitophilus oryzae (L)*. Mémoire D. A. A. ENSAM, Montpellier, 55p.

Kling J. G., (1991). *Morphologie et développement du maïs*. Guide de phytotechnie de l'IITA. Programme de la formation, Institut international d'agriculture tropicale (IITA), Ibadan, Nigéria. N°1, 125 p.

Koné D, (1991). Caractérisation du risque climatique de la culture du maïs en zone centre Côte d'Ivoire. *IAHS publ*, 199. 516-518.

Kouassi B., (1991). *Influence de quelques facteurs externes sur le cycle de développement et la survie de Sitophilus oryzae L. (Coléoptères curculionidae)*. Thèse d'obtention du titre de Docteur en Sciences Naturelles, Université nationale de Côte d'Ivoire, 92p.

L

Labeyrie V., (1992). Problèmes fondamentaux posés par les insectes des denrées. In : Foua-Bi K. & Philogène B.J.R., eds. *Actes du seminaire international à Abidjan, Côte d'Ivoire, 29 janvier-1 février 1992*, 9-14.

Lacoste P., (1970). *La défense des cultures à Madagascar*. 190-191.

Lepesme P., (1944). Les coléoptères des denrées alimentaires et des produits industriels entreposés. *Ed. P. Le chevalier, Paris*. 61 - 67.

Longstaff B. C., (1981). Biology of the grain pest species of the genus *Sitophilus* (Coleoptera : Curculionidae) : a critical review. *Ecology Protection*. 2 : 83-130. In *Protection ecology*. An international Journal devoted to the Study and Management of Noxious organisms in plant and Animal Industries.

Loumerem M., Van Damme P., Sgair M., Reheul D., Behaeghe T., (2009). Evaluation participative de nouvelles lignées de mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) sélectionnées pour les régions arides tunisiennes. *Afrika focus*, 22(1). 89-105.

M

M A E, (1993). *Aperçu de l'agriculture Sénégalaise*, 9 p.

M A E, (2001). *La culture et la production du mil et du sorgho au Sénégal : Bilan-diagnostic et perspectives*, 130p.

MA / DAPS, (2012). ANSD : *Bulletin Mensuel des statistiques économiques*, 117p.

Markham R. H., Bosque-Perez N. A., Borgemeister C., Meikle W. G., (1994). Developing pest management strategies for *Sitophilus zeamais* and *Prostephalus truncatus* in the tropic. *FAO Plant Prot. Bull.* 42 : 97-116.

Mbaye D. F, (1993). Contraintes phytosanitaires du mil dans le Sahel : Etat des connaissances et perspectives. ISRA/CNRA de Bambey-Sénégal, 174-186.

Mbengue H. M., (1985). *La transformation des céréales au Sénégal : Etude sur la mécanisation des récoltes et des traitements subséquents des produits agricoles en Afrique tropicale et fabrication des matériels et des équipements correspondants.* Bambey-Sénégal, 13p.

Mbengue H. M., (1986). *La mécanisation de la transformation des céréales au Sénégal : Aspects techniques et nutritionnels.* Dakar Département système et transfert, 21p.

Mbengue H. M., (1987). *Synthèse des travaux de recherches en technologie post récolte du mil au Sénégal.* Bambey-Sénégal, 18p.

Moyal P., (1992). Les pertes des stocks de maïs villageois en Côte d'Ivoire et leur contrôle. *ORSTOM MAA l'agronomie tropicale*, Paris. 243-245.

N

Ndao A., (2011). *Diversité, abondance et prévalence des principaux Coléoptères ravageurs de stocks de fonio, de maïs et de mil au Sénégal.* Mémoire de diplôme de Master II en Biologie Animale, Spécialité Entomologie. Université Cheikh Anta Diop de Dakar Sénégal. 30p.

Ndiaye A. et al. (2005). *Les céréales.* In : Bilan de la recherche agricole et agroalimentaire au Sénégal. Dakar : ISRA, ITA, CIRAD, 241-256.

Ndiaye D. S. B, (1999). *Manuel de stockage et de conservation des céréales et des oléagineux.* Cellule Central d'Appui Technique, 61p.

Ndoye M., Gahukar R. T., Carson A. G., Selvaraj C., Mbaye D. F. et Diallo S., (1986). *Les problèmes phytosanitaires du mil dans le Sahel.* Compte Rendu du séminaire sur la lutte intégrée, USAID/FAO/CILSS, Niamey, Niger, 6-13 décembre 1984. 79-94.

Neethirajan S., Karunakaran C., Jayas D. S. & White N. D. G., (2007). Detection techniques for stored-product insects in grain. *Food Control*. 18: 157-162.

Ngamo L. S. T. & Hance T. H., (2007). Diversité des ravageurs des denrées et méthodes alternatives de lutte en milieu tropical. *Tropicultura*. 215 - 220.

Nyabyenda P., (1995). Les plantes cultivées en régions tropicales d'altitude. *Les presses agronomiques de gembloux, Belgique*, 145-168.

O

Ouedraogo I. & Sidibé M., (1991). Le système d'information sur les prix agricoles au Sénégal. *UNIVAL-ISRA*, Dakar. 18(4), 17p.

P

Paliwal R., (2002). *Le maïs en zone tropicales, amélioration et production : Insectes du maïs.* FAO, Rome, 17p.

Paulian R., (1988). *Biologie des coléoptères.* Ed. Le Chevalier., Paris, 710p.

Philogène B.J.R., Arnason J., Lambert J.D.H, (1989). Facteurs contribuant à la protection du maïs contre les attaques de *Sitophilus* et *Prostephalus*. *John Libbey Eurotext*, Paris. 141-150.

R

Rajendran S., (2002). Post harvest pest losses. *In Encyclopedia of Pest Management*, Pimentel D (ed). Marcel Dekker, Inc: New York. 654–656.

Ratnadass A. & Sauphanor B., (1989). Les pertes dues aux insectes sur les stocks paysans de céréales en Côte d'Ivoire. *John Libbey Eurotext*, paris. 47-56.

Ratnadass A., (1984). *Les problèmes entomologiques liés au stockage paysan des vivriers en Côte d'Ivoire.* Note technique N° 6 /841/CV IDESSA, 47 p.

Ratnadass A., (1987). *Dynamique Des Populations D'insectes Ravageurs Des Stocks De Céréales En Milieu Villageois D'Afrique Tropicale.* Thèse Doctorat. Paris Grignon. 266p.

Richards O. W., (1947). Observations on grain weevils Calandra (Coleoptera : Curculionidae).I. General biology and oviposition. *Proc. Zool. Soc. Londres.* 117 : 1- 43.

Risbec J., (1950). *La faune entomologique des cultures au Sénégal et au Soudan français.* Tome 1.

Roorda F. A., (1982). Laboratory observations on the development of *Tribolium castaneum* HERBST (Coleoptera Tenebrionidae) on millet at different temperature and relative humidities. *Zeitschrift für Angewandte Entomologie*, 93: 446-452.

S

Saint-Clair P. M., (1989). Les cultures importantes de l'espace tropical : Les cultures vivrières. *Tome II, Québec, Canada, les entreprises Papyrus*, 1-60.

Schoonhoven A. V., Horber E. et Mills R. B., (1976). Conditions modifying expression of resistance of maize kernels to the maize weevil. *Environ. Entomol.* 5 : 163-168.

Seck D., (1983). *Etude d'un ravageur des céréales, Sitotroga cerealella OLIV. (Lep. Gelechiidea) en milieu paysan au Sénégal.* Mémoire de fin d'études, Faculté Sciences Agronomique, Gembloux (Belgique), 123p.

Seck D., (1989). Importance et développement d'une approche de lutte intégrée contre les Insectes ravageurs de stocks de maïs, de mil et de niébé en zone Sahélienne. *Revue Sénégalaise des recherches agricoles et halieutique*, 2. 14-16.

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., (2009). *Stockage, conservation et transformation des récoltes en zones tropicales.* Notes de cours, 31p.

- Seck D., Sidibé B., Fall A., (1992).** Observation sur le développement de *Tribolium castaneum* Herbst sur le mil (*Pennisetum typhoïde* L.), en fonction du taux de brisure dans le substrat. *Soc. r. belge Ent*, 35. 471-475.
- Segrove F., (1951).** Le comportement de ponte de deux souches du charançon du riz, *Calandra oryzae* Linn. (Coleoptera: Curculionidae). *Journal of Experimental Biology*. 28 : 281-297.
- Sembène M., (2000).** *Variabilité de l'Espaceur Interne Transcrit (ITS) de l'ADN ribosomique et polymorphisme des locus micro satellites chez la bruche Caryedon serratus (Olivier) : différenciation en races hôtes et infestation de l'arachide au Sénégal.* Thèse de Doctorat d'Etat ès Sciences Université Cheikh Anta Diop de Dakar (Sénégal), 180p.
- Sembène M., Delobel A., (2004).** Mythe ou réalité ? Le « principe de Hopkins » dans le cas de la Bruche de l'arachide *Caryedon serratus* (coleoptera, Bruchidae). *Bulletin de la société entomologique de France*, 109 (1) : 61-66.
- Sembène M., Thiaw C., Doumma A., Sanon A., Kétoh G. K., Delobel A., (2012).** Préférence de ponte et niveau d'adaptation de différentes souches de *Caryedon serratus* Ol. (Coleoptera, Bruchidae) à l'arachide (*Arachis hypogaea* L., Fabaceae). *Annales de la Société Entomologique de France (n. s)*, 48 (1-2) : xxx-xxx.
- Smith E. H., Whitman R. C., (1992).** Field Guide to Structural Pests. National Pest Management Association, *Dunn Loring, VA. New York*. 59-62.
- Stearns S. C., (1992).** *The evolution of life histories*. Oxford University Press, New York. 249p.
- Steffan J. R., (1978).** Description et biologie des insectes, 1-65. In Scotti, G. *Les insectes et les acariens des céréales*. AFNOR/ITCF, Paris, 238 p.
- 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. *J. Appl. Entomol*. 120 : 143-146.

T

Tapsoba H., (1991). *Effet de l'association de cultures sur les fluctuations, les densités de populations, et les dégâts des insectes inféodés à l'arachide, au niébé, au sorgho, et au mil.* Mémoire de fin d'étude université de Ouagadougou, 168p.

Throne J. E., (1994). Life history of immature maize weevils (Coleoptera : Curculionidae) on corn stored at constant temperatures and relative humidities in the laboratory. *Environ. Entomol.* 23 : 1459-1471.

Toumnou L. A., (2012). *Gestion intégrée des principaux insectes ravageurs des céréales par l'utilisation des métabolismes secondaires des plantes indigènes du Sénégal et de Centre-Afrique.* Thèse de Doctorat. Spécialité : Production et Protection des végétaux. Université Cheikh Anta Diop de Dakar Sénégal. 223p.

Traoré S., Bagayoko M., Coulibaly B. S., Coulibaly A., (2003). *Amélioration de la gestion de la fertilité des sols et celle des cultures dans les zones Sahéliennes de l'Afrique de l'Ouest : une condition sine qua none pour l'augmentation de la production et de la durabilité des systèmes de culture à la base de mil,* 25p.

Traoré S., Ouédraogo I. & Bama B. H., (1996). Importance de *Prostephanus truncatus* (Horn) (Coleoptera : Bostrichidae) et des autres insectes des stocks de maïs dans les entrepôts céréaliers du Burkina Faso. In : *La lutte intégrée contre les insectes nuisibles au maïs dans les greniers ruraux, avec une référence particulière au grand capucin du maïs, Prostephanus truncatus* (Horn) (Coleoptera : Bostrichidae), et l'avenir du secteur post-récolte en Afrique subsaharienne. Compte rendu d'une réunion, Cotonou (Bénin).

Trematerra P., (2009). Preferences of *Sitophilus zeamais* to different types of Italian commercial rice and cereal pasta. *Bulletin of Insectology*, 62 (1): 103-106.

Tripathi A. K., Prajapati V., Aggarwal K. K., Kumar S., (2001). Toxicity, feeding deterrence, and effect of activity of 1,8-Cineole from *Artemisia annua* on progeny production of *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of Economic Entomology*. 94 : 979 - 983.

V

Vanier P., (2005). *Le millet au fil du temps, Usages culinaires, Conservation, Jardinage biologique, Écologie et environnement*, 10p.

W

Waongo A., (2009). *Contribution à l'étude des contraintes de stockage des céréales (mil-maïs- sorgho) en zone Sud Soudanienne du Burkina Fasso*. Mémoire d'obtention du Diplôme d'études Approfondies (DEA) en Sciences Biologiques Appliquées, Université de Ouagadougou, 57p.

Waongo A., Yamkoulga M., Dabire-Binso C. L., Ba M. N. et Sanon A., (2013). Conservation post-récolte des céréales en zone sud-soudanienne du Burkina Faso : Perception paysanne et évaluation des stocks. *Internationnal Journal of Biological and Chemical Sciences*. 7(3): 1157-1167.

Widstrom N. M., McMillian W. W. et Wiseman B. R., (1978). Improving effectiveness of measurements for seed resistance to maize weevil. *J. Econ. Entomol.* 71 : 901- 903.

Y

Yadi H., (1987). *Critères qualitatifs et technologiques associés à la multiplication du charançon de riz, Sitophilus oryzae(L) (Coleoptera : Curculionidae) dans un stock de riz paddy au cours de sa conservation en enceintes étanches sous atmosphères modifiées et en conditions de climat tropical*. Diplôme Agro. App. Bordeaux 29p.

WEBOGRAPHIE

- http://dilex.com.ua/eng/supplement-information/rice_weevil (consulté le 13 /02/2013).
- <http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Ma%C3%AFs&oldid=112163499> (consulté le 25/02/2015).
- http://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:Grains_mais.jpg (consulté le 13 /09/2013).
- <http://it.wikipedia.org/wiki/File:Tribolium.castaneum.jpg> (consulté le 25 /02/2015).
- <http://www.erails.net/FARA/aphlis/aphlis/quality-losses-review/annex-1---insect-pests-of-cereal-grains/> (consulté le 06/07/2015).
- http://www.google.sn/imgres?q=sitophilus+zeamais&hl=fr&rlz=1R2ACAW_frSN436&tbnisch&tbnid=S6lgp58V4kBXWM:&imgrefurl (consulté le 16 /09/2013).
- <http://www.grainscanada.gc.ca/storage-entrepote/pip-irp/mw-cr-fra.htm> (consulté le 16 /09/2013).
- <http://www.museum.agropolis.fr/pages/expos/agriculteurs/objets/objet21g.htm> (consulté le 13 /09/2013).
- <http://www.snv.jussieu.fr/bmedia/ATP/tri-dvt.htm> (consulté le 26/08/13).
- ICRISAT, (2007). Pearl Millet. www.icrisat.org/crop-millet.htm (consulté le 25/02/2013).
- Maïs, (2015). Wikipédia, l'encyclopédie libre <http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Ma%C3%AFs&oldid=112163499> (consulté le 02/02/2015).
- NSW Agriculture <http://www.agric.nsw.gov.au/Hort/ascu/zeck/zeck187.htm> (consulté le 25/02/2013).
- Walter E., (2002) Pests of stored Foodproducts. <http://entomology.ucr.edu/ebeling/ebeling> (consulté le 25/02/2013)

ANNEXES

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Guèye A .C., Diome T., Thiaw C., Ndong A., Ndiaye Guèye A., Sembène M. 2012. Capacity of biodemographic development of *Tribolium castaneum* Herbst (Coleoptera, Tenebrionidae) and *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera, Curculionidae) in stored cereals in Senegal. *South Asian Journal of Experimental Biology*. 2 (3): 108-117.

GUEYE Amy Collé, DIOME Toffène, THIAW Cheikh, SEMBENE Mbacké. 2015. Evolution of the parameters biodemographic populations of *Tribolium castaneum* H. (Coleoptera, Tenebrionidae) subservient in the mil (*Pennisetum glaucum* Leek) and the corn (*Zea mays* L.). *Journal of Applied Biosciences*. 90: 8361– 8376.

Toffène DIOME, Cheikh THIAW, **Amy Collé GUEYE**, Assane NDONG, Malick SARR, Mbaye DIOP, Mbacké SEMBENE. 2015. Biodemographic and live cycle development comparison of three genetic populations of *Tribolium castaneum* Herbst (Coleoptera, Tenebrionidae). *Journal of Applied Biosciences*. 93: 8727 – 8735.

POSTERS

GUEYE A.C., SEMBENE M. 2012. Tables de vie de deux coléoptères *Tribolium castaneum* (Coleoptera, Tenebrionidae) et *Sitophilus zeamais* (Coleoptera, Curculionidae) ravageurs de céréales stockées. Doctoriales de l'Ecole Doctorale Science de la Vie, de la Santé et de l'Environnement de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Février 2013.

ANNEXES

Annexe I : Fiche de Collecte des insectes

BOITE :		Date d'infestation :																																		
A L I M E N T	Semaines	3							4							5							6							7						
	Jours	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
	Nombre Individus/jours																																			
	Nombre Par semaine																																			

Annexe II : Fiche de Comptage et de Pesage des insectes

BOITE :		Date d'infestation :																																		
A L I M E N T	Semaines	3							4							5							6							7						
	Jours	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
	Nombre Individus/jours																																			
	Nombre Par semaine																																			

BOITE :		Date d'infestation :																																		
A L I M E N T	Semaines	3							4							5							6							7						
	Jours	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
	Nombre Individus/jours																																			
	Nombre Par semaine																																			

Annexe II : Fiche de Comptage et de Pesage des insectes

Nom insecte :

Origine :

Boite :			Date d'infestation :		
Individus	Poids (g)	Individus	Poids (g)	Individus	Poids (g)
1		26		51	
2		27		52	
3		28		53	
4		29		54	
5		30		55	
6		31		56	
7		32		57	
8		33		58	
9		34		59	
10		35		60	
11		36		61	
12		37		62	
13		38		63	
14		39		64	
15		40		65	
16		41		66	
17		42		67	
18		43		68	
19		44		69	
20		45		70	
21		46		71	
22		47		72	
23		48		73	
24		49		74	
25		50		75	
Total individus :					

Annexe III : *Sitophilus zeamais* provenant du maïs et élevé sur le maïs entier

Boîtes	Date infestation	Nombre d'adultes	Poids Moyens (mg)	Durée moyenne de développement (jours)
1	25/06/2015	3	2,6	30,5
2	25/06/2015	1	2,1	32
3	25/06/2015	0	0	0
4	25/06/2015	0	0	0
5	25/06/2015	2	2,9	28
6	25/06/2015	1	2,3	28
7	25/06/2015	2	2,5	32
8	25/06/2015	0	0	0
9	25/06/2015	0	0	0
10	25/06/2015	3	2,6	33,5
11	25/06/2015	3	2,4	29,5
12	25/06/2015	2	2,5	34
13	25/06/2015	1	3,3	27
14	25/06/2015	1	2,5	32
15	25/06/2015	3	2,8	30
16	25/06/2015	2	2,6	27
17	25/06/2015	2	3	30
18	25/06/2015	0	0	0
19	25/06/2015	1	2,6	28
20	25/06/2015	2	2,7	32
		29	2,62666667	30,23333333
Ecartype			0,29146592	2,298032285

Annexe IV : *Sitophilus zeamais* provenant du maïs et élevé sur le maïs décortiqué

Boites	Date infestation	Nombre d'adultes	Poids Moyens (mg)	Durée moyenne de développement (jours)
1	27/05/2015	1	2,2	26
2	27/05/2015	3	2,3	31
3	27/05/2015	3	2,1	26
4	27/05/2015	1	3,3	26
5	27/05/2015	0	0	0
6	27/05/2015	1	2,9	22
7	27/05/2015	5	2,6	28
8	27/05/2015	0	0	0
9	27/05/2015	0	0	0
10	27/05/2015	8	2,4	28
11	27/05/2015	2	2,5	25
12	27/05/2015	3	2,2	27
13	28/05/2015	1	3,1	24
14	28/05/2015	4	2,4	28
15	28/05/2015	0	0	0
16	28/05/2015	0	0	0
17	28/05/2015	1	2,6	24
18	28/05/2015	0	0	0
19	28/05/2015	1	2,8	25
20	28/05/2015	4	2,3	25
		38	2,55	26,07142857
Ecartype			0,35895146	2,234839031

Annexe V : *Sitophilus zeamais* provenant du maïs et élevé sur le maïs brisé

Date infestation	Nombre d'adultes	Poids Moyens (mg)	Durée moyenne de développement (jours)
25/03/2014	5	1,9	53
25/03/2014	0	0	0
25/03/2014	0	0	0
25/03/2014	5	2,2	55
25/03/2014	0	0	0
25/03/2014	0	0	0
25/03/2014	0	0	0
25/03/2014	4	2,4	52
25/03/2014	5	2,3	43
25/03/2014	10	2,2	51
25/03/2014	0	0	0
25/03/2014	6	2,4	39
25/03/2014	4	2,3	46
25/03/2014	6	2	53
26/03/2014	3	2,5	41
26/03/2014	0	0	0
26/03/2014	3	2,3	45
26/03/2014	0	0	0
26/03/2014	4	2	44
26/03/2014	0	0	0
	55	2,22727273	47,45454545
		0,19021519	5,5202108

Annexe VI : *Sitophilus zeamais* provenant du maïs et élevé sur la farine de maïs

Boîtes	Date infestation	Nombre d'adultes	Poids Moyens (mg)	Durée moyenne de développement (jours)
1	25/03/2014	0	0	0
2	25/03/2014	0	0	0
3	25/03/2014	0	0	0
4	25/03/2014	0	0	0
5	25/03/2014	0	0	0
6	25/03/2014	0	0	0
7	25/03/2014	0	0	0
8	25/03/2014	0	0	0
9	25/03/2014	0	0	0
10	25/03/2014	0	0	0
11	25/03/2014	0	0	0
12	25/03/2014	0	0	0
13	25/03/2014	0	0	0
14	25/03/2014	0	0	0
15	26/03/2014	0	0	0
16	26/03/2014	0	0	0
17	26/03/2014	0	0	0
18	26/03/2014	0	0	0
19	26/03/2014	0	0	0
20	26/03/2014	0	0	0
			0	0
Ecartype				

Annexe VII : *Sitophilus oryzae* provenant du mil et élevé sur du maïs entier

Boîtes	Date infestation	Nombre d'adultes	Poids Moyens (mg)	Durée moyenne de développement (jours)
1	21/05/2015	0	0	0
2	21/05/2015	2	2,2	32
3	21/05/2015	0	0	0
4	21/05/2015	0	0	0
5	22/05/2015	0	0	0
6	22/05/2015	0	0	0
7	22/05/2015	0	0	0
8	22/05/2015	0	0	0
9	22/05/2015	1	2,2	34
10	22/05/2015	0	0	0
11	22/05/2015	2	1,7	34
12	22/05/2015	0	0	0
13	22/05/2015	0	0	0
14	22/05/2015	4	2,1	26,3
15	22/05/2015	1	2,3	30
16	22/05/2015	0	0	0
17	22/05/2015	0	0	0
18	22/05/2015	3	2,2	33
19	22/05/2015	3	2,1	30
20	22/05/2015	2	2,2	29
		18	2,125	31,0375
Ecartype			0,183225076	2,701289375

Annexe VIII : *Sitophilus oryzae* provenant du mil et élevé sur du maïs décortiqué

Boîtes	Date infestation	Nombre d'adultes	Poids Moyens (mg)	Durée moyenne de développement (jours)
1	27/05/2015	0	0	0
2	27/05/2015	2	1,8	27,5
3	27/05/2015	1	1,8	26
4	27/05/2015	2	1,95	25
5	27/05/2015	0	0	0
6	27/05/2015	3	1,96	28
7	27/05/2015	1	2,2	26
8	27/05/2015	1	1,5	24
9	27/05/2015	2	2,2	27
10	27/05/2015	0	0	0
11	27/05/2015	0	0	0
12	28/05/2015	0	0	0
13	28/05/2015	1	1,9	26
14	28/05/2015	0	0	0
15	28/05/2015	2	2,1	28
16	28/05/2015	0	0	0
17	28/05/2015	1	2,5	29
18	28/05/2015	0	0	0
19	28/05/2015	1	2,2	28,5
20	28/05/2015	3	2,2	27
		20	2,025833333	26,83333333
Ecartype			0,262174762	1,48221783

Annexe IX : *Sitophilus oryzae* provenant du mil et élevé sur du maïs brisé

Boites	Date infestation	Nombre d'adultes	Poids Moyens (mg)	Durée moyenne de développement (jours)
1	26/05/2015	1	2,4	31
2	26/05/2015	5	2,3	28
3	26/05/2015	0	0	0
4	26/05/2015	5	2,3	31
5	26/05/2015	5	2,4	30
6	26/05/2015	0	0	0
7	26/05/2015	0	0	0
8	26/05/2015	2	1,8	29
9	26/05/2015	0	0	0
10	26/05/2015	1	2,1	31
11	26/05/2015	4	2	33,33
12	26/05/2015	0	0	0
13	26/05/2015	1	2,5	35
14	26/05/2015	5	2	30,66
15	26/05/2015	0	0	0
16	26/05/2015	4	2,1	30,33
17	26/05/2015	0	0	0
18	26/05/2015	1	2,2	27
19	26/05/2015	0	0	0
20	26/05/2015	1	2,2	28
		35	2,191666667	30,36
Ecartype			0,202072594	2,257879134

Annexe X : *Sitophilus oryzae* provenant du mil et élevé sur de la farine de maïs

Boîtes	Date infestation	Nombre d'adultes	Poids Moyens (mg)	Durée moyenne de développement (jours)
1	27/05/2015	0	0	0
2	27/05/2015	0	0	0
3	27/05/2015	0	0	0
4	27/05/2015	0	0	0
5	27/05/2015	0	0	0
6	27/05/2015	0	0	0
7	27/05/2015	0	0	0
8	27/05/2015	0	0	0
9	27/05/2015	0	0	0
10	27/05/2015	0	0	0
11	27/05/2015	0	0	0
12	27/05/2015	0	0	0
13	27/05/2015	0	0	0
14	27/05/2015	0	0	0
15	27/05/2015	0	0	0
16	27/05/2015	0	0	0
17	27/05/2015	0	0	0
18	27/05/2015	0	0	0
19	27/05/2015	0	0	0
20	27/05/2015	0	0	0
Ecartype				

Annexe XI : Tableaux récapitulatifs
Sitophilus zeamais provenant du maïs

	Nombre d'adultes	Poids moyen (mg)	Durée moyenne de développement (jours)	Nombre de Mâles	Nombre de Femelles	Sex-Ratio (%)
Maïs entier	29	2,63	30,23	19	10	34,48
Maïs décortiqué	38	2,55	26,07	25	13	34,12
Maïs brisé	55	2,23	47,45	36	19	34,55
farine de Maïs	0	0	0	0	0	0

Sitophilus oryzae provenant du mil

	Nombre d'adultes	Poids moyen (mg)	Durée moyenne de développement (jours)	Nombre de Mâles	Nombre de Femelles	Sex-Ratio (%)
Maïs Entier	18	2,13	31,04	13	5	27,78
Maïs décortiqué	20	2,03	26,83	12	8	40
Maïs brisé	35	2,1916667	30,36	25	10	28,57
farine de Maïs	0	0	0	0	0	0

ANNEXES

Annexe XII : *Tribolium castaneum* provenant du mil sur mil entier

Boîtes	Date infestation	Durée ponte-Nymphe (jours)	Durée Nymphé-émergence (jours)	Nombre de larves	Nombre d'adultes	Poids Moyens (mg)	Durée de développement (jours)	Taux de Fertilité (%)
1	18/07/2013	0	0	0	0	0	0	0
2	18/07/2013	0	0	0	0	0	0	0
3	18/07/2013	25	7	2	2	2,1	32	100
4	18/07/2013	23	6	1	1	2	29	100
5	18/07/2013	0	0	0	0	0	0	0
6	18/07/2013	25	6	17	17	1,9	31	100
7	18/07/2013	25	5	3	2	1,8	30	66,66
8	18/07/2013	30	7	12	12	1,9	37	100
9	19/07/2013	30	9	11	11	1,8	39	100
10	19/07/2013	28	8	13	13	1,9	36	100
11	19/07/2013	0	0	0	0	0	0	0
12	19/07/2013	0	0	0	0	0	0	0
13	19/07/2013	0	0	0	0	0	0	0
14	19/07/2013	0	0	0	0	0	0	0
15	19/07/2013	25	7	4	3	2,1	32	75
16	22/07/2013	0	0	0	0	0	0	0
17	22/07/2013	25	7	10	8	1,9	32	80
18	22/07/2013	0	0	0	0	0	0	0
19	22/07/2013	0	0	0	0	0	0	0
20	22/07/2013	0	0	0	0	0	0	0
		26,22222222	6,88888889	73	69	1,933333333	33,11111111	91
Ecartype		2,346523565	1,099943882			0,105409255	3,212629399	

ANNEXES

Annexe XIII : *Tribolium castaneum* provenant du mil sur mil décortiqué

Boîtes	Date infestation	Durée ponte-Nymphé (jours)	Durée Nymphé-émergence (jours)	Nombre de larves	Nombre d'adultes	Poids Moyens (mg)	Durée de développement (jours)	Taux de Fertilité (%)
1	22/07/2013	0	0	0	0	0	0	0
2	22/07/2013	0	0	0	0	0	0	0
3	22/07/2013	29	6	3	3	1,5	35	100
4	22/07/2013	0	0	0	0	0	0	0
5	22/07/2013	29	8	10	10	1,7	37	100
6	22/07/2013	0	0	0	0	0	0	0
7	22/07/2013	30	6	3	3	1,8	36	100
8	22/07/2013	0	0	0	0	0	0	0
9	22/07/2013	0	0	0	0	0	0	0
10	22/07/2013	0	0	0	0	0	0	0
11	22/07/2013	0	0	0	0	0	0	0
12	23/07/2013	0	0	0	0	0	0	0
13	23/07/2013	32	8	9	9	1,8	40	100
14	23/07/2013	0	0	0	0	0	0	0
15	23/07/2013	0	0	0	0	0	0	0
16	23/07/2013	0	0	0	0	0	0	0
17	23/07/2013	31	8	11	11	1,8	39	100
18	23/07/2013	0	0	0	0	0	0	0
19	23/07/2013	0	0	0	0	0	0	0
20	23/07/2013	0	0	0	0	0	0	0
		30,2	7,2	36	36	1,72	37,4	100
Ecartype		1,166190379	0,979795897			0,116619038	1,854723699	

Annexe XIV : *Tribolium castaneum* provenant du mil sur mil brisé

Boîtes	Date infestation	Durée ponte-Nymphe (jours)	Durée Nymphe-émergence (jours)	Nombre de larves	Nombre d'adultes	Poids Moyens (mg)	Durée de développement (jours)	Taux de Fertilité (%)
1	29/08/2013	0	0	0	0	0	0	0
2	29/08/2013	26	6	7	7	2,1	32	100
3	29/08/2013	26	7	8	8	2	33	100
4	29/08/2013	23	6	5	5	2,1	29	100
5	29/08/2013	0	0	0	0	0	0	0
6	29/08/2013	0	0	0	0	0	0	0
7	29/08/2013	25	7	9	9	2,1	32	100
8	29/08/2013	26	7	9	9	2	33	100
9	29/08/2013	0	0	0	0	0	0	0
10	29/08/2013	23	7	5	5	2,1	30	100
11	29/08/2013	22	5	7	7	2,1	27	100
12	29/08/2013	23	7	7	7	2	30	100
13	29/08/2013	0	0	0	0	0	0	0
14	02/09/2013	0	0	0	0	0	0	0
15	02/09/2013	21	6	1	1	2,3	27	100
16	02/09/2013	26	6	7	7	2,1	32	100
17	02/09/2013	23	6	5	5	2,2	29	100
18	02/09/2013	0	0	0	0	0	0	0
19	02/09/2013	26	5	7	7	2,2	31	100
20	02/09/2013	0	0	0	0	0	0	0
		24,16666667	6,25	77	77	1,807142857	30,41666667	100
Ecartype		1,771690969	0,721687836			0,08620067	2,019006907	

Annexe XV : *Tribolium castaneum* provenant du mil sur la farine de mil

Boîtes	Date infestation	Durée ponte-Nymphé (jours)	Durée Nymphé-émergence (jours)	Nombre de larves	Nombre d'adultes	Poids Moyens (mg)	Durée de développement (jours)	Taux de Fertilité (%)
1	16/07/2013	0	0	0	0	0	0	0
2	16/07/2013	31	8	16	15	1,9	39	93,75
3	16/07/2013	33	9	4	2	2	42	50
4	16/07/2013	32	9	2	2	1,8	41	100
5	16/07/2013	0	0	0	0	0	0	0
6	16/07/2013	0	0	0	0	0	0	0
7	16/07/2013	0	0	0	0	0	0	0
8	16/07/2013	0	0	0	0	0	0	0
9	16/07/2013	0	0	0	0	0	0	0
10	16/07/2013	0	0	0	0	0	0	0
11	17/07/2013	33	7	1	1	1,9	40	100
12	17/07/2013	0	0	0	0	0	0	0
13	17/07/2013	0	0	0	0	0	0	0
14	17/07/2013	34	9	6	6	1,9	46	100
15	17/07/2013	36	9	2	1	1,9	45	50
16	17/07/2013	32	8	7	6	1,9	40	85
17	17/07/2013	34	9	5	4	2	43	80
18	17/07/2013	31	7	2	2	1,8	38	100
19	17/07/2013	0	0	0	0	0	0	0
20	17/07/2013	0	0	0	0	0	0	0
		32,88888889	8,333333333	45	39	1,9	41,55555556	84,31
Ecartype		1,5234788	0,816496581			0,066666667	2,543449587	

ANNEXES

Annexe XVI : *Tribolium castaneum* provenant du maïs sur mil entier

Boîtes	Date infestation	Durée ponte-Nymphe (jours)	Durée Nymphe-émergence (jours)	Nombre de larves	Nombre d'adultes	Poids Moyens (mg)	Durée de développement (jours)	Taux de Fertilité (%)
1	12/08/2013	0	0	0	0	0	0	0
2	12/08/2013	0	0	0	0	0	0	0
3	12/08/2013	0	0	0	0	0	0	0
4	13/08/2013	0	0	0	0	0	0	0
5	13/08/2013	0	0	0	0	0	0	0
6	13/08/2013	0	0	0	0	0	0	0
7	14/08/2013	0	0	0	0	0	0	0
8	14/08/2013	0	0	0	0	0	0	0
9	14/08/2013	0	0	0	0	0	0	0
10	14/08/2013	0	0	0	0	0	0	0
11	14/08/2013	0	0	0	0	0	0	0
12	14/08/2013	0	0	0	0	0	0	0
13	19/08/2013	0	0	0	0	0	0	0
14	19/08/2013	0	0	0	0	0	0	0
15	19/08/2013	0	0	0	0	0	0	0
16	19/08/2013	0	0	0	0	0	0	0
17	19/08/2013	0	0	0	0	0	0	0
18	19/08/2013	0	0	0	0	0	0	0
19	19/08/2013	0	0	0	0	0	0	0
20	19/08/2013	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0
Ecartype		0	0	0		0	0	

ANNEXES

Annexe XVII : *Tribolium castaneum* provenant du maïs sur mil décortiqué

Boîtes	Date infestation	Durée ponte-Nymphé (jours)	Durée Nymphé-émergence (jours)	Nombre de larves	Nombre d'adultes	Poids Moyens (mg)	Durée de développement (jours)	Taux de Fertilité (%)
1	17/03/2014	0	0	0	0	0	0	0
2	17/03/2014	0	0	0	0	0	0	0
3	17/03/2014	0	0	0	0	0	0	0
4	18/03/2014	0	0	0	0	0	0	0
5	18/03/2014	0	0	0	0	0	0	0
6	18/03/2014	0	0	0	0	0	0	0
7	19/03/2014	0	0	0	0	0	0	0
8	19/03/2014	0	0	0	0	0	0	0
9	19/03/2014	0	0	0	0	0	0	0
10	20/03/2014	0	0	0	0	0	0	0
11	20/03/2014	0	0	0	0	0	0	0
12	20/03/2014	0	0	0	0	0	0	0
13	24/03/2014	0	0	0	0	0	0	0
14	24/03/2014	0	0	0	0	0	0	0
15	24/03/2014	0	0	0	0	0	0	0
16	25/03/2014	0	0	0	0	0	0	0
17	25/03/2014	0	0	0	0	0	0	0
18	25/03/2014	51	7	2	2	1,5	58	100
19	26/03/2014	50	5	1	1	1,6	55	100
20	26/03/2014	0	0	0	0	0	0	0
		50,5	6	3	3	1,55	56,5	100
Ecartype		0,5	1			0,05	1,5	

ANNEXES

Annexe XVIII : *Tribolium castaneum* provenant du maïs sur mil brisé

Boîtes	Date infestation	Durée ponte-Nymphé (jours)	Durée Nymphé-émergence (jours)	Nombre de larves	Nombre d'adultes	Poids Moyens (mg)	Durée de développement (jours)	Taux de Fertilité (%)
1	09/12/2013	0	0	0	0	0	0	0
2	09/12/2013	0	0	0	0	0	0	0
3	09/12/2013	0	0	0	0	0	0	0
4	09/12/2013	0	0	0	0	0	0	0
5	09/12/2013	0	0	0	0	0	0	0
6	09/12/2013	63	16	1	1	1,9	79	100
7	09/12/2013	66	17	7	4	1,8	83	57
8	09/12/2013	0	0	0	0	0	0	0
9	09/12/2013	0	0	0	0	0	0	0
10	09/12/2013	0	0	0	0	0	0	0
11	09/12/2013	54	16	4	3	2,1	70	75
12	09/12/2013	51	18	4	3	2	69	75
13	10/12/2013	0	0	0	0	0	0	0
14	10/12/2013	0	0	0	0	0	0	0
15	10/12/2013	0	0	0	0	0	0	0
16	10/12/2013	0	0	0	0	0	0	0
17	10/12/2013	51	15	1	1	2,4	66	100
18	10/12/2013	0	0	0	0	0	0	0
19	10/12/2013	0	0	0	0	0	0	0
20	10/12/2013	0	0	0	0	0	0	0
		57	16,4	17	12	2,04	73,4	81
Ecartype		6,292853089	1,019803903			0,205912603	6,468384652	0,165481

ANNEXES

Annexe XIX : *Tribolium castaneum* provenant du maïs sur la farine de mil

Boîtes	Date infestation	Durée ponte-Nymphe (jours)	Durée Nymphe-émergence (jours)	Nombre de larves	Nombre d'adultes	Poids Moyens (mg)	Durée de développement (jours)	Taux de Fertilité (%)
1	17/12/2013	0	0	0	0	0	0	0
2	17/12/2013	0	0	0	0	0	0	0
3	17/12/2013	64	14	4	4	2	78	100
4	17/12/2013	0	0	0	0	0	0	0
5	17/12/2013	59	16	6	4	1,9	75	67
6	17/12/2013	0	0	0	0	0	0	0
7	17/12/2013	61	15	1	1	1,6	76	100
8	17/12/2013	71	14	1	1	1,9	85	100
9	17/12/2013	0	0	0	0	0	0	0
10	17/12/2013	62	17	3	1	2	79	33
11	18/12/2013	0	0	0	0	0	0	0
12	18/12/2013	58	16	1	1	1,6	74	100
13	18/12/2013	78	15	3	3	1,9	93	100
14	18/12/2013	66	17	2	2	2	83	100
15	18/12/2013	0	0	0	0	0	0	0
16	18/12/2013	57	17	1	1	1,6	74	100
17	18/12/2013	52	19	4	4	2,2	71	100
18	18/12/2013	0	0	0	0	0	0	0
19	18/12/2013	59	16	4	4	2,2	75	100
20	18/12/2013	0	0	0	0	0	0	0
		62,45454545	16	30	26	1,9	78,45454545	90,91
Ecartype		6,840569306	1,414213562			0,208893187	6,035706426	0,2060209

ANNEXES

Annexe XX : Tableaux récapitulatifs *Tribolium castaneum* provenant du mil

Substrats	Durée moyenne ponté-nymphé (jours)	Durée moyenne nymphé-adulte (jours)	Nombre de larve	Nombre d'adultes	Poids moyens (mg)	Durée moyenne de développement (jours)	Nombre de Mâle	Nombre de Femelle	Sex – Ratio (%)
Mil entier	26,22	6,88	73	69	1,93	33,11	20	34	62,96
Mil décortiqué	30,2	7,2	36	36	1,72	37,4	23	13	36,11
Mil brisé	24,17	6,25	77	77	1,8	30,42	39	28	41,79
farine de Mil	32,88	8,33	45	39	1,9	41,55	20	11	35,48

Tribolium castaneum provenant du maïs

Substrats	Durée moyenne ponté-nymphé (jours)	Durée moyenne nymphé-adulte (jours)	Nombre de larve	Nombre d'adultes	Poids moyens (mg)	Durée moyenne de développement (jours)	Nombre de Mâle	Nombre de Femelle	Sex – Ratio (%)
Mil entier	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mil décortiqué	51	6	3	3	1,55	57	2	1	33,33
Mil brisé	57	16,4	17	12	2,04	73,4	6	6	50
farine de Mil	62	16	30	26	1,9	78,45	16	10	38,26

Annexe XXI : PUBLICATION I

South Asian J Exp Biol; 2 (3): 108-117; 2012



South Asian Journal of Experimental Biology



ISSN: 2230-9799

Vol. 2, Issue 3, Page 108-117

<http://www.saleb.org>

REGULAR ARTICLE

Capacity of biodemographic development of *Tribolium castaneum* Herbst (Coleoptera, Tenebrionidae) and *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera, Curculionidae) in stored cereals in Senegal

A. C. Guèye^{1,3*}, T. Diome^{1,3}, C. Thiaw², A. Ndong^{1,3}, A. Ndiaye Gueye¹, M. Sembène^{1,3}¹Department of Animal Biology, Faculty of Science and Technology, University C.A. Diop, BP 5005 Dakar, Senegal²CERAAS-ISRA, Khombole Road, B.P. 3320, Thies, Senegal³BIOPASS UMR 022 IRD-CBGP Bel-Air, B.P. 1386, Dakar, Senegal

ARTICLE INFO

Article History:

Received: 3 May 2012

Revised: 24 May 2012

Accepted: 10 June 2012

*Corresponding Author:

Telephone: +221776517691

Email: gueyeamycolle@gmail.com

Keywords: food security, *Sitophilus zeamais*, *Tribolium castaneum*, cereals, losses, storage

ABSTRACT

To contribute to food security and reduce poverty among Senegalese populations through a strategy of integrated management of insect pests of cereal crops, experiments were conducted on corn and millet (in the grain form and flour form) to track development of *T. castaneum* and *S. zeamais* after infestations controlled. The mean duration of development of *S. zeamais* was 35.33 days in the kernels of corn. Its development was more favorable in corn stored in the form of grain but the grain was more resistant to *Sitophilus* after processing into flour. Millet was found to be more protected against attacks by *S. zeamais*. The average duration of development of *T. castaneum* was shorter in the grains of millet than in corn. The transformation of these grains into flour influenced the development of *T. castaneum* which was accelerated in the corn flour and slowed in the millet. The nature of the food affected the weight of *T. castaneum* when several grains were made available.

1. Introduction

In Senegal, as in most developing countries, particularly those in the Sahel, cereals are the staple diet of rural and urban populations. Several species and varieties of cereals are grown, but the millet, corn, rice and sorghum are among the major ones (Gueye et al., 2011).

Pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br), an annual cereal grass, is the staple food of millions of people in the Sahel zone and nearly 40% of the world production of millet comes from Africa (Dabre, 2008). Corn in American origin, is one of the twenty most important foods for human con-

sumption as well in America and Africa (Camara, 2009). Indeed, food is usually attacked by insects during their storage since the beginning of human civilization. Losses are considerable in the humid tropics as the climate favors the development of pests (Dabre, 2008). In warm regions, several species are particularly recognized for their voracity to the stored corn. *Sitophilus zeamais* Motschulsky is universally recognized as one of the largest devastators of stored grains not only for its own consumption, but also because it opens the door to a wide variety of secondary pests like the red flour beetle (*Tribolium castaneum* Herbst) (Coleoptera, Tenebrionidae) which accelerates the damage

(Throne, 1994; Dabre, 2008).

Initial infestation of corn by *Sitophilus zeamais* occurs in fields just before harvest and insects are driven into the store where the population builds up rapidly (Appert, 1987; Adedire and Lajide, 2003; Asawalam et al., 2008). A single female can lay 300-400 eggs during its life; it lays eggs preferably in the apical third of the grain (Delobel and Tran, 1993). Development time for the full life cycle of this species is on average 36 days with a temperature between 27 and 31° C and 70% relative humidity.

Tribolium castaneum Herbst is a pest of stored products, best known in the tropics and subtropics. The insect is considered a secondary pest strict causing extensive damage on millet stocks beaten throughout the Sahelian zone. In case of heavy infestation, the adult releases substances that confer quinoline pungent odor and makes the bread difficult.

For a good knowledge of the Life history of these insects, it is essential to know how they react to changes in the nature of food resources.

is the present investigation was a part of the comprehensive approach for studying the effect of the nature of the food on the development capacity of *Sitophilus zeamais* and *Tribolium castaneum*, grain storage pests, temperature and to the ambient relative humidity.

2. Materials and Methods

2.1. Sampling

The samples were taken respectively on corn for *S.zeamais* and on millet for *T.castaneum*. The different localities sampled are: Mbam (14°07' North and 16°26' West) in the region of Fatik, Sandiara (14°26' North and 16°47' West) in the region of Thiès, Karang (13°36' North and 16°25' West) at the border between Gambia and Senegal and Diaroumé (12°59' North and 15°37' West) in the region of Sedhiou.

In each locality, grains of millet and corn were collected in infested attics producers. These samples were then brought to the laboratory and preserved in jars of 17cm in diameter and 23cm in height until adult emergence that was used for breeding.

2.2. Breeding ground and selection of couples

The insects used were reared in the laboratory in glass jars containing millet and corn.

For couples, we removed first of all insect mass rearing and three days later, we used a sieve. Then adults were isolated in Petri dishes after two days to ensure three days old. Sex determination was done according to Delobel and Tran (1993) who reported that in *T.castaneum*, there was the presence of a tuber pilifere rounded at the base of the anterior femur in males and absent in females. For *S. zeamais*, after removing adults jars, they were placed in Petri dishes for two days and then, in a dark room to isolate pairs. These were then placed in Petri dishes 9 cm in diameter and 1.5 cm containing the cereal to infest.

2.3. Development of *T. castaneum* and *S. zeamais* on corn and millet husk

The cereals used for experimentation as an insect food were millet and corn. The experiment was done on millet and corn shell. In our experiments the temperature varied from 28.5 to 31 ° C and humidity of 41-67%. It had 15 boxes numbered 1 through 15 for each cereal corresponding to 15 repetitions. For insects having the same surface for the incubation, 20g of grains were used repeatedly. The content of the boxes was infested by three pairs of *T. castaneum* from millet (Figure 1A) on the one hand and three pairs of *S. zeamais* from corn (Figure 1B) on the other hand, aged at least three days and 10 days more to ensure that spawning to well and truly begun (females of *T. castaneum* and *S. zeamais* begin their spawning from the age of three days). The date of infection, corresponding to the first day of the experiment, was noted. Couples were used to infest successively three boxes at a rate of 24 per box.

The dishes were then placed in the experimental chamber. The first experiment was done with individuals of *T. castaneum* from millet and the second with *S. zeamais* from corn. The device used was the block of Fisher. At the end of development, observation of adults began the third week and was done daily. The total number of insects per box per day was counted and every individual was then weighed less than 24 h after its emergence

At the end of these observations, life-history parameters were determined as follows:

- **The development time:** Among Coleoptera, spawning was spread and lasted almost the entire adult life. Development time ranges from oviposition (egg laying) to adult emergence;

- **The Weight:** the average weight was obtained by dividing the sum of individual weights by the number of individuals;
- **The sex-ratio** which gives the percentage of females compared to all descendants.

2.4. Development of *T. castaneum* and *S. zeamais* on corn flour and millet

The same experimental protocol was used for infestations of corn flour and millet from communities Sandiara, Mbam, Diaroumé and Bambey. It had 12 boxes numbered 1 through 12 for each crop and corresponding to 12 replicates. 10 g of flour was used repeatedly by insects to provide a substantially identical surface nesting. For each insect species, a box was infested by an elderly couple from at least three days and 10 days. Each pair was used to infest a box. The couple spent 24 h in each box before being removed. The dishes were then placed in the experimental room. Observation of larval emergence (which was done daily) starting on the tenth day because it was difficult to count the eggs, without providing a means to experience. The total number of larvae per box per day was counted. This observation was followed by the larvae of pupae. For each of these stages of development, the first day of appearance was noted. It was the same for the emergence of adults. At the end of development we counted the number of adults per box per day. Each individual was then weighed less than 24 h after its emergence.

3. Results

3.1. Life-history parameters of *T. castaneum* on corn and millet

3.1.1. Average duration of the development cycle

The average duration of the development cycle varied with food for *T. castaneum*. This duration was more important in corn (36.3 ± 1.4 days) than in millet (29.38 ± 1.45 days). The results are given in Table 1.

3.1.2. Weight of adults

Insects that emerged in each food were individually weighed 24 h after discharge. Our results indicated that the average weight of *T. castaneum* had increased in corn (2.02 ± 0.17 mg) in absolute value greater than those operating in millet (1.99 ± 0.15 mg). These results are shown in Table 1.

3.1.3. Sex-ratio

The sex ratio (percent female) was in favor of male *T. castaneum* both in corn than in pearl millet (Table 1).

Foodstuffs	Corn kernels	Millet grains
Development time (days)	$36,3 \pm 1,4$	$29,38 \pm 1,45$
Mean weight (mg)	$2,02 \pm 0,17$	$1,99 \pm 0,15$
Number of adults sexed	218	160
males	133	107
females	85	53
R (%)	38,99	33,13

Table 1: Average length of development, Average weight and sex ratio (R) of *T. castaneum* based food from 28.5 to 31° C and 41-67% RH.

3.2. Settings Biodemographic *S. zeamais* on corn grain and millet

3.2.1. Average Length of development cycle

The average duration of the development cycle was 35.33 ± 5.51 days in corn. *S. zeamais* had not lain on millet during the 24 h of infestation. The results are reported in Table 2.

3.2.2. Weight of adults

Our results indicated that the average weight of *S. zeamais* increased appreciably in corn and it was 2.37 ± 0.15 mg. There were no adults on target. These results are summarized in Table 2.

3.2.3. Sex ratio

The sex ratio (percent female) was in favor of males of *S. zeamais* in corn (Table 2).

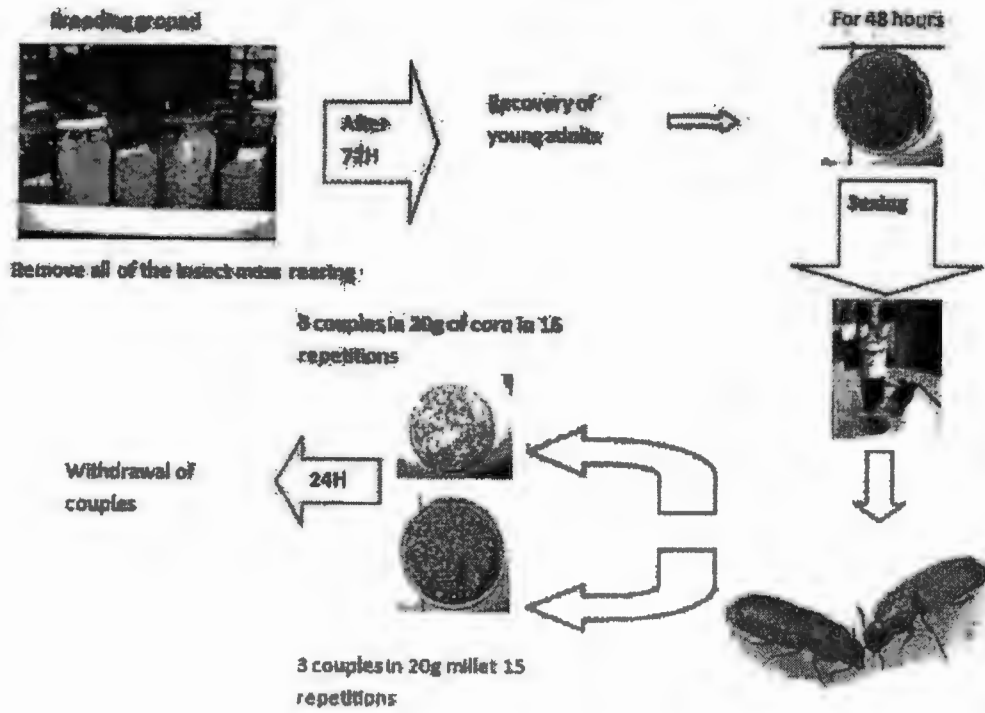
Foodstuffs	Corn kernels	Millet grains
Development time (days)	$35,33 \pm 5,51$	0
Mean weight (mg)	$2,37 \pm 0,15$	0
Number of adults sexed	37	0
Males	26	0
Females	11	0
R (%)	29,73	0

Table 2: Average length of development, Average weight and sex ratio (R) of *S. zeamais* based food from 28.5 to 31° C and 41-67% RH.

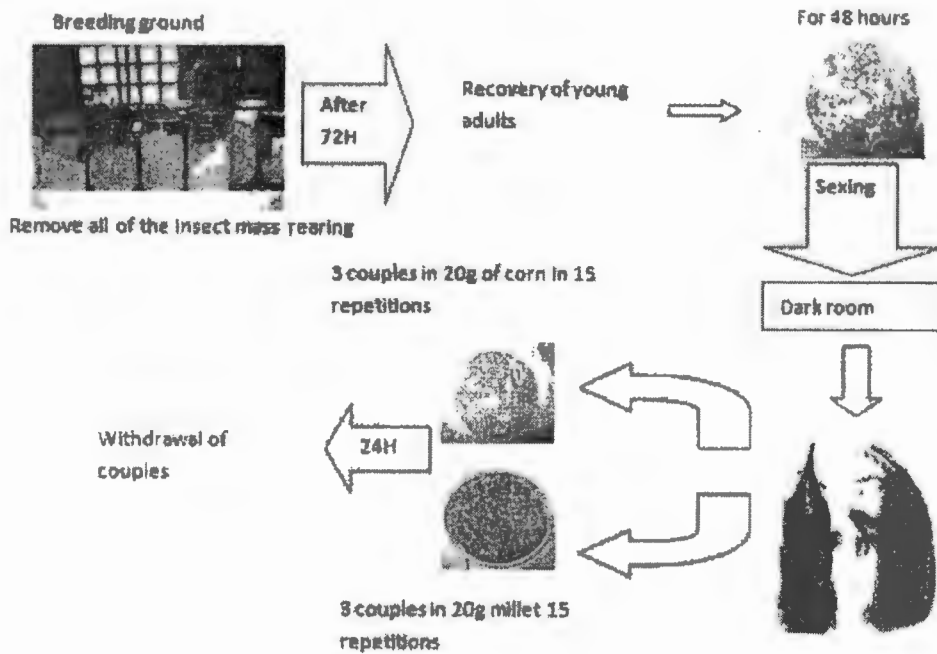
3.3. Biodemographic parameters of *T. castaneum* on corn flour and millet

3.3.1. Kinetics appearance of larvae

The average number of larvae of *T. castaneum* ob-



A



B

Figure 1: Experimental.

served after ten days of experimentation decreases gradually. The maximum was observed at the first day of appearance of larvae up to 7.57 on the millet flour and 7.33 on corn meal. The results are given in Table 3.

Days	1	2	3	4	5
Average number of larvae <i>T. castaneum</i> on corn flour	7,33	2,33	1	0	0
Average number of larvae <i>T. castaneum</i> on millet flour	7,57	1,5	1	1	1,8

Table 3: Average number of larvae of *T. castaneum* in corn flour and millet at 28.5 to 31 ° C and 41-67% RH.

From day one, the average number of larvae was substantially the same on millet flour (7.57) and corn (7.33). The average number decreases as the days up to vanish from the fourth day to *T. castaneum* infesting corn flour. The average number of larvae increased slightly from day 5 (1.8) for *T. castaneum* on millet flour (Figure 2).

3.3.2. Average length egg-pupa and pupa-adult *T. Castaneum*

Our results indicated that the egg-pupal period of *T. castaneum* was longer in millet flour (25.22 ± 0.83 days) than corn (21.25 ± 0.71 days). By cons, the pupa-adult period was approximately the same for *T. castaneum* in flour of corn and millet, respectively, 6.25 ± 0.71 days and 6.09 ± 1.51 days (Table 4).

Foodstuffs	Corn flour	Millet flour
Egg-pupal duration (days)	$21,25 \pm 0,71$	$25,22 \pm 0,83$
Pupa-adult period (days)	$6,25 \pm 0,71$	$6,09 \pm 1,51$
Development time (days)	$26,25 \pm 0,46$	$30,33 \pm 0,87$
Mean weight (mg)	$2,03 \pm 0,17$	$1,91 \pm 0,13$
Number of adults sexed	57	68
Males	31	40
Females	26	28
R (%)	45,61	41,18

Table 4: Average length egg-pupa and pupa-adult, Average length of development, Average weight and sex ratio (R) of *T. castaneum* based foods from 28.5 to 31 ° C and 41-67% RH.

3.3.3. Average Length of development cycle

The average duration of the development cycle varied with food for *T. castaneum*. This time was more important millet flour (30.33 ± 0.87 days) than corn flour (26.25 ± 0.46 days). The results are given in Table 4.

3.3.4. Weight of adults

Our results indicated that the average weight of *T. castaneum* has increased in the corn flour (2.03 ± 0.17 mg) and were more important than playing in the millet flour (1.91 ± 0.13 mg). These results are shown in Table 4.

3.3.5. Sex ratio

The sex ratio (percent female) was in favor of male *T. castaneum* as well in corn flour as millet (Table 4).

3.4. Biodemographic Parameters of *S. zeamais* on corn flour and millet

S. zeamais has not laid during the 24 h of infestation on corn flour and millet. Even after five days of infection, no eggs were laid. Thus, the Biodemographic parameters are not determined.

3.5. Comparison of Biodemographic parameters of *T. castaneum* according to the nature of food

3.5.1. Average Length of development cycle

The average duration of the development cycle varied with the type of food for *T. castaneum* (Figure 3). In corn, this duration was 36.3 ± 1.42 days in the grains and 26.25 ± 0.46 days in the flour. This period was 29.38 ± 1.45 days in the grains and 30.33 ± 0.87 days in the millet flour. For a given grain, the same letter on the bar chart shows that the values they do not differ at $p < 0.05$ (Student's t test).

	Corn kernels	Millet grains	Corn flour	Millet flour
Corn kernels	-	$t = 0,74$	$t = 0,06$	$t = 0,28$
Millet grains	-	-	$t = 0,13$	$t = 0,04$ $P < 0,05^*$
Corn flour	-	-	-	$t = 0,35$
Millet flour	-	-	-	-

Table 5: Comparison of average length of development cycles *T. castaneum* depending on the type of food.

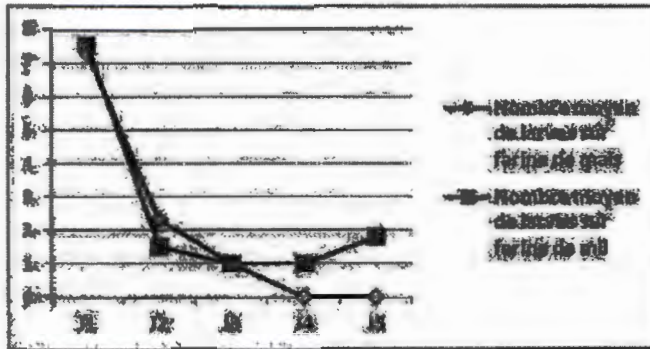


Figure 2: Kinetics of appearance of larvae of *T. castaneum* on corn flour and millet based on days.

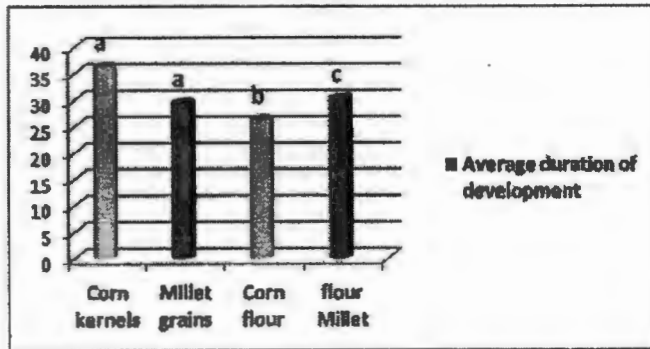


Figure 3: Average length of the development cycle of *T. castaneum* depending on the nature of the food.

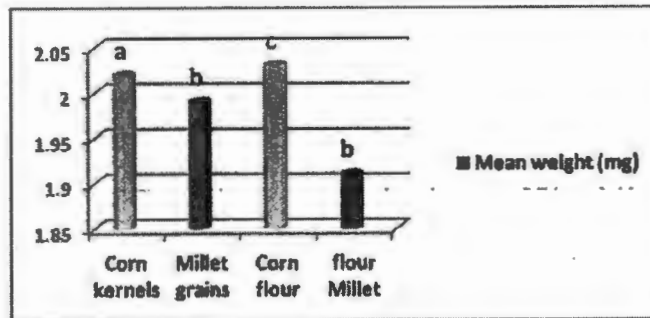


Figure 4: Average weight of *T. castaneum* imago depending on the nature of the food.

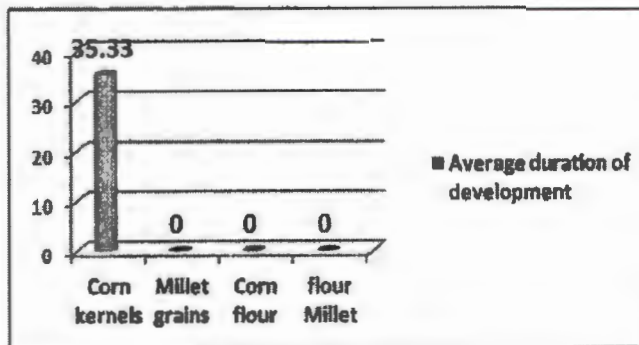


Figure 5: Average length of the development cycle of *S. zeamais* depending on the nature of the food.

The results are given in Table 5. The average duration of the development cycle on target was lower for insects moving in the grains (29.38 ± 1.45 days) than those reared in flour (30.33 ± 0.87 days). The opposite was observed in corn (36.3 ± 1.42 days in the grains and 26.25 ± 0.46 days in the flour). In addition, the average duration of development differed significantly from *T. castaneum* in the corn kernels in *T. castaneum* in grain of millet ($t = 0.74$) as well as in the millet flour and corn ($t = 0.35$). These same results are found in grains and corn meal ($t = 0.06$).

3.5.2. Weight of adults

Our results indicated that the average weights for *T. castaneum* have evolved in the grains of millet are 1.99 ± 0.15 mg and 1.91 ± 0.13 mg in the flour. The average weight was much more important for insects that grow in the corn kernels (2.02 ± 0.17 mg) and corn meal (2.03 ± 0.17 mg) (Figure 4). For a given grain, the same letter on the bar chart shows that the values they do not differ at $p < 0.05$ (Student's *t* test).

The weight difference between the means was significant imagoes of *T. castaneum* raised on corn kernels and those reared on millet grains ($t = 0.13$). The same situation was observed between *T. castaneum* raised on corn meal and *T. castaneum* on millet ($t = 0.83$). We also note a significant difference between *T. castaneum* raised on grains and one that has grown on corn meal ($t = 0.47$). These results are summarized in Table 6.

	Corn kernels	Millet grains	Corn flour	Millet flour
Corn kernels	-	$t = 0.13$	$t = 0.47$	$t = 0.53$
Millet grains	-	-	$t = 0.12$	$t = 0.02$ $P < 0.05^*$
Corn flour	-	-	-	$t = 0.83$
Millet flour	-	-	-	-

Table 6: Comparison of average weights of *T. castaneum* depending on the type of food.

3.5.3. Sex ratio

The sex ratio (percent female) was in favor of males regardless of the nature of the food for *T. castaneum* (Table 7).

Foodstuffs	Number of adults sexed	Males	Females	R (%)
Corn kernels	218	133	85	38.99
Millet grains	160	107	53	33.13
Corn flour	57	31	26	45.61
Millet flour	68	40	28	41.18

Table 7: Emergence of adults and sex ratio (R) of *T. castaneum* depending on the type of food.

3.6. Comparison of Biodemographic parameters of *S. zeamais* according to the nature of food

The average duration of *S. zeamais*' development was 35.33 ± 5.51 days in the corn kernels. There was no emergence in the millet's grains, in the millet's flour and also in the corn flour (Figure 5).

4. Discussion and Conclusion

The results obtained from the kernels of corn and millet for *T. castaneum* showed that the average duration of development was shorter on the millet grains (29.38 ± 1.45 days) than those of corn (36.3 ± 1.42 days). This shows that the grains of millet are more favorable to the development of *T. castaneum* than corn. Indeed, the envelope of corn is less resistant favors the attack of *T. castaneum* in these grains. According to Kouassi (1991), more grain was protected by a tough shell, unless it was impregnated with moisture and the shorter the duration of insect development. Indeed, *T. castaneum* was a secondary pest attack weak grains intact but microscopic lesions sufficient to allow the larvae to enter the grain. Note that most of the grains used were low in farmers attacked by primary pests like moths and some beetles like *Sitophilus zeamais*, *Sitophilus oryzae*, *Rizopertha dominica* during storage. Moreover, these are the few holes left by these primary pests and broken grains caused in the course of hype intensified attacks *T. castaneum*. Some boxes that contained fewer grains attacked gave little rise. Our results are similar to those of Bekon and Fleurat-Lessard (1989) reported that secondary pests can not depreciate the grains until their openings for access roads.

T. Castaneum was able to grow in their cereal grain storage cubes but also, to move from one grain (millet) to another (corn).

Moreover, the weight of the insect in corn kernels (2.02 ± 0.17 mg) was higher than that obtained in the grains of millets (1.99 ± 0.15 mg). Weight gain of insects depends on the nature of the support and protection food grains. Referring to the grain

size, we can say that over the infested grain was large, the greater the amount of food available. Our results are those of similaires Farjan (1983) and Bekon (1984) in Kouassi (1991), which using *Sitophilus* reported that the weight of the latter was higher than on grain whose grain size was sufficiently great.

The difference in weight depending on the support food for both insects would be lower in *T. castaneum* because the larvae of the latter move freely in the food, allowing them access to other grains in contrast to *Sitophilus* whose development was hygienic.

Apart from the influence of food availability, nutritional quality of these grains may also play a role on the fate of the weight of insects. The carbon / protein that express indirectly the carbon / nitrogen ratio are 5.03 for corn and 3.74 for millet (Kouassi, 1991). Unlike carbon-nitrogen composition was the cause of the weight difference between insects that thrive on different food support.

Regarding the sex ratio, it was broadly in favor of males on each support food despite variations in favor of one sex or the other depending on the nature of the substrate. A variation of this ratio in favor of either sex would have resulted in greater variation in reproductive success in some than in others.

In addition, for *S. zeamais*, the average development relative humidity ranging from 41 to 67% and a temperature ranging from 28.5 to 31 ° C (relative humidity and temperature of the experimental room) was 35.33 ± 5.6 days in corn kernels. Our results are similar to those Delobel & Tran (1993), reported that the optimum development of *S. zeamais* between 27 and 31 ° C for 70% humidity was 36 days. There was no spawning in the grains of millet. Indeed, the morphology of the rostrum of *S. zeamais* does not facilitate the drilled grain size very small as the millet. In addition, the bark of millet grain was more resistant than corn. According Philogène et al., (1989), the female of *S. zeamais* lays her eggs, placing each in a small hole in the grain and sealing it with a mucilaginous plug of saliva. Delobel & Tran (1993) reported that the development of *S. zeamais* was only possible on grains having high water content. This could explain the non-development of the insect into the grains of millet seed coats was very resistant there by reducing moisture in the grain. It could also be due to the fact that *Sitophilus* used are derived from corn and

may struggle to adapt on target. The increase in moisture during grain maturation allows the insect to infest cereals like corn before the harvest. The low water content about 13% in the grains of millet (Codex Stan, 1989) would protect him against *S. zeamais*. However, it was noted by some authors in millet, there was much more than that of *S. oryzae* as *S. zeamais*. The latter was more suited to large grain size and less resistant barrier.

The average weight of the insect was 2.37 ± 0.15 days in the corn kernels. The development of *S. zeamais* was performed inside the grain. This observation allows us to think it that if development of the insect into the grains of millet, the weight of those that developed in the grains of corn would be more important than those who completed their round on target?

The sex ratio of *S. zeamais* was in favor of males in the corn kernels. Would it be the same in the grains of millet?

The results obtained on corn flour and millet show that the average number of larvae of *T. castaneum* was substantially the same in the first days of occurrence (7.33 and 7.57). It decreases until the second and third days will be canceled as of the fourth day in corn. While, on target average number of larvae that settles between the third and fourth day increasing to 1.8 at the end of the fifth day. The egg-pupal period of *T. castaneum* was longer in millet flour (25.22 ± 0.83 days) than in corn (21.25 ± 0.71 days). This confirms that the elimination of its causes slower development of *T. castaneum*. Thus, the duration of pupal-adult *T. castaneum* was substantially the same in corn flour and millet respectively 6.25 ± 0.71 days and 6.09 ± 1.51 days. Indeed, during the moult the nymph does not nourish and this influx no development of *T. castaneum*.

The average duration of development of *T. castaneum* in flour was 30.33 ± 0.87 days in the millet and 26.25 ± 0.46 days in corn. It appears that the average duration of the development cycle of *T. castaneum* depend both of humidity, the nature of the food support and protection of the grain. The transformation of grain into flour would reduce the moisture content low was a limiting factor for the development of this insect. Protection of the grain was highlighted by Seck et al. (1992), which according to them, broken on the millet grains promote the development of *T. castaneum*. Unlike the average duration of development of *T. castaneum* be-

tween these two foods could also be due to a difference in nutritional value between them. Indeed, the two grains are processed differently in flour to consumers. For corn that was the whole grain into flour which was contrary to millet where the sound was removed during processing. This would lead to a decrease in the nutritive value of millet flour, thus slowing the development of the insect from cornmeal where development was faster. This could be confirmed by Green Africa & INRAN (2007), who argue that the flour was a product intended for human consumption which was obtained from grains of millet (candle) by a process of grinding industrial (commercial) in which the seed was largely eliminated and the endosperm reduced sufficiently fine powder.

The average duration of development *T. castaneum* was longer on corn (36.3 ± 1.42 days) than on corn meal (26.25 ± 0.46 days). The reverse was true for millet: 29.38 ± 1.45 days on grain and 30.33 ± 0.87 days on flour. The average duration of insect development on millet grains intact was slightly higher than that found on broken grains of the same cereal (Seck et al., 1992).

Thus, the corn into flour has no means of resistance against *T. castaneum* in addition; the germ was not removed during this transformation, which would accelerate its development. However, *T. castaneum* are fewer obstacles in flour unlike grains whose envelope was a barrier to the development of the latter. By cons, on target, development was faster in the grains into flour, which was the elimination of the germ of grains during processing.

It is important to prevent the passage of *T. castaneum* from corn grains to corn flour.

The weight of the insect *T. Castaneum* was larger in absolute value in grains than in the millet flour. What we can say that the transformation of millet flour was unfavorable for the growth of the insect. By cons, in corn the average values of weight of the insect on grain and flour are substantially the same. Flour and corn have the same influence on weight gains of the insect.

The sex ratio towards males of *T. Castaneum* as well as on grain flour. This enables us there to say that the sex ratio was always in favor of males regardless of the type of cereal?

These results allow saying that the transformation of grain into flour affects the development of *T. castaneum* and *S. zeamais*. Thus, to protect corn

against *S. zeamais*, it was best to store after processing into meal but short periods. Millet seems to hold more attacks *S. zeamais* when stored as grain processing into flour but slowed the development of *T. castaneum* and prevents that of *S. zeamais*.

Moreover, for a better understanding of biodemography of these two insects, more complete life tables can be established by calculating the following parameters:

The lifespan of the adult, the number of eggs laid by females, the fertility rate, larval survival rate (S), the rate of emergence, and the rate of increase per individual (RM), the generation time and the doubling time of the population (TD).

Acknowledgements

This publication was produced with financial support of the project WAAPP/2011 (West African Agricultural Productivity Programme) coordinated by Dr. Cheikh THIAW. We thank all laboratory technicians CBGP IRD Bel-Air for the help received during experiments.

References

- Asawalam EF, Emosaire SO, Hassanali A (2008) Essential of oil oimun grattissimum (labiacae) have Curculionidae beetles *Sitophilus zeamais* / protectant. African Journal of Biotechnology 20: 3771 - 3776.
- Bekon K, Fleurat Lessard F (1989) Evaluation of dry matter losses of grain due to a secondary pest: *Tribolium castaneum* (Herbst) beetles Tenebrionidae, during storage of grain. John Libbey Eurotext: 97-104.
- Camara A (2009) Fight against *Sitophilus orizea* L. (Coleoptera Curculionidae) and *Tribolium castaneum* Herbst (Coleoptera Tenebrionidae) in stored rice by traditional breeding techniques practiced in Lower Guinea and use of plant essential oils. University of Quebec, Montreal.
- CODEX S (1989) Codex standard for pearl millet in whole grains and shelled. Codex Alimentarius Niamey, Niger.
- Dabre EE (2008) Inventory and importance of insect pests of millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br) in the Sahel region of Burkina Faso. University Bobe Dioulasso, Burkina Faso.
- Daniho M, Haubruge E (2003) Oviposition behavior and reproductive strategy of *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). Crop Protection 24: 59 - 67.
- Delobel A, Tran M (1993) Beetles food stored in warmer regions. CTA and Orstrom
- Diouf M (1989) The Senegalese experience of primary processing of local cereals Review and Prospects in Kouahou MPF (1989). Hot cereals in the region: conservation and transformation. John Libbey Eurotext: 249-251.
- Farjan MA (1983) Biodynamics Laboratory of two insect pests of

durum wheat: the rice weevil *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera: Curculionidae) and the lesser grain borer *Rhizopertha dominica* (F.) (Coleoptera: Bostrychidae) with application to storage conditions in North Africa. University Hassan II, Rabat.

Green Africa & INRAN (2007) Regulations and standards of products processed from cereals. <http://www.afriqueverte.org>, accessed on 15 June 2011.

Guèye M T, Seck D, Wathélet J P, Lognay G (2011) Fight against storage pests of cereals and legumes in Senegal and West Africa: review of references. *Biotechnology Agronomy Society and Environment* 15 : 183-194.

Kouassi B (1991) Influence of some external factors on the development cycle and survival of *Sitophilus oryzae* L. (Coleoptera Curculionidae). Côte d'Ivoire.

Moyal P (1992) Losses of stored corn in Ivory Coast villagers and their control. *MAA tropical agriculture ORSTOM* : 243-245.

Ngamo LST, Hance TH (2007) Diversity of product pests and alternative control methods in the tropics. *Tropicicultura* 2(1) : 215-220.

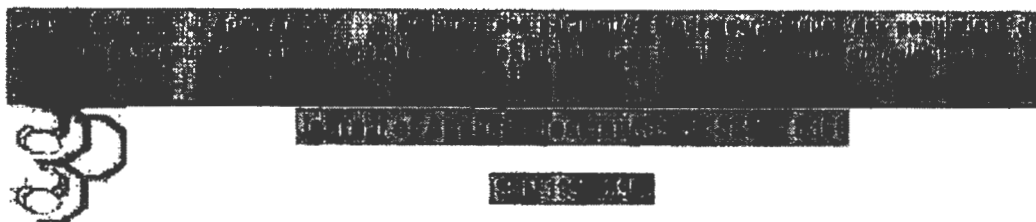
Philogène BJR, Arnason J, Lambert JDH (1989) Factors contributing to the protection of corn against the attacks of *Sitophilus* and *Prostephanus*. *John Libbey Eurotext* : 141-150.

Seck D (1989) Importance and development of an integrated pest management approach against the insect pests of corn stocks, millet and cowpea in the Sahelian zone. *Journal of Agricultural Research and Senegalese fisheries* 2: 14-16.

Seck D, Sidibé B, Fall A, (1992) Observation on the development of *Tribolium castaneum* Herbst on millet (*Pennisetum typhoid* L.), based on the rate of breaking into the substrate. *Royal Belgian Entomological Society* 35: 471-475.

Throne J E, (1994) Life history of immature corn weevils (Coleoptera: Curculionidae) on Corn Stored at constant temperatures and relative humidities in the laboratory. *Environmental Entomology* 23: 1459-1471.

Annexe XXII : PUBLICATION II



Évolution des paramètres biodémographiques des populations de *Tribolium castaneum* H. (Coleoptera, Tenebrionidae) inféodé dans le mil (*Pennisetum glaucum* Leek) et le maïs (*Zea mays* L.)

GUEYE Amy Collé^{1,3}, DIOME Toffène^{1,3}, THIAW Cheikh², SEMBENE Mbacké^{1,3}

¹Département de Biologie Animale, Faculté des Sciences et Techniques, Université Cheikh Anta Diop, B.P. 5005 Dakar, Sénégal

²CERAAS-ISRA, Khombole Road, B.P. 3320, Thiès, Sénégal

³BIOPASS UMR 022 IRD-CBGP Bel-Air, B.P. 1386, Dakar, Sénégal

*Corresponding author email : guevearmycolle@gmail.com ; acolle23@live.fr ; Tel : 00221776517691

Original submitted in on 16th April 2015. Published online at www.m.elewa.org on 30th June 2015
<http://dx.doi.org/10.4314/iab.v90i1.8>

RESUME

Objectif : L'objectif de cette étude est de voir l'effet des différents substrats du mil (entier, décortiqué, brisé et farine) sur les capacités de développement de *T. castaneum* provenant du mil d'une part et du maïs d'autre part, à la température et à l'humidité relative ambiante.

Méthodologie et résultats : Le développement de *T. castaneum* a été suivi après des infestations contrôlées des grains de mil entier d'abord, puis décortiqué, ensuite brisé et en fin transformé en farine. Le cycle de développement a été suivi de la ponte jusqu'à l'apparition des adultes pour déterminer les différentes paramètres biodémographiques. Les résultats ont montré que quel que soit sa provenance mil ou maïs, *T. castaneum* est capable de se développer sur le mil décortiqué, brisé et farine. En effet, *T. castaneum* provenant du maïs ne s'est pas développé sur le mil entier, contrairement aux *T. castaneum* provenant du mil.

Conclusion et application des résultats : Au terme de cette étude, nous pouvons confirmer que *T. castaneum* est un ravageur primaire du mil. Le mil semble plus tenir aux attaques de *T. castaneum* après décortiquage ou après sa transformation en farine. En effet, la nature du substrat et l'origine de *T. castaneum* ont une influence sur le développement et le devenir du poids de l'insecte. Ainsi, pour limiter l'infestation de *T. castaneum* dans les stocks de mil, il faut le conservé après décortiquage ou après sa transformation en farine.

Mots clés : *Tribolium castaneum*, Paramètres biodémographiques, mil, maïs, dégâts, stocks.

ABSTRACT

Objective: The objective of this study is to see the effect of different substrates of millet (whole, husked, broken and flour) on the development capacity of *T. castaneum* from millet on the one hand and of corn secondly, at the temperature and the ambient relative humidity.

Methodology and results : The development of *T. castaneum* was followed after controlled infestations on the whole millet grains first, then husked and then broken and then the flour. The development cycle was followed by the laying until the emergence of adults to determine the different biodemographic parameters. The results showed that regardless of its origin millet or corn, *T. castaneum* is able to develop on millet hulled, broken and flour. Indeed, *T. castaneum* from corn did not develop on the whole millet, unlike *T. castaneum* from millet.

Conclusion and application of the results : *T. castaneum* is a primary pest of millet. Millet seems to hold the attacks of *T. castaneum* after shelling or after processing into flour. Indeed, the nature of the substrate and the source of *T. castaneum* influence the development and future of the weight of the insect. Thus, to contain the infestation of *T. castaneum* in stocks of millet, it must be kept after shelling or after processing into flour or stored them on the same storage area as corn.

Keywords : *Tribolium castaneum*, Biodemographic parameter, millet, corn, damage, stocks.

INTRODUCTION

Au Sénégal, parmi les cultures céréalières, le mil reste la céréale dominante aussi bien au niveau de la production que de la commercialisation (Info conseil et Paoa, 2006). Le rendement actuel du mil est largement en deçà des attentes de la couverture nationale en nourriture. En effet, plusieurs facteurs contribuent à la limitation de l'augmentation de la production du mil parmi lesquels, nous avons les contraintes de la dégradation de l'environnement agroécologique, celles liées au faible niveau d'utilisation des semences et d'engrais, de la pénibilité du battage du mil, des problèmes de financement, des besoins de producteurs et les contraintes liées au relèvement fréquent du prix au producteurs des cultures de rente (Arachide et Cotons) (MAE, 2001). Mais, les pertes liées aux conditions de stockage sont plus importantes et atteignent 20 à 30% après 6 mois de stockage (CILSS, 1998). Ainsi selon Kouassi (1991), les denrées alimentaires analysées sont infestées, essentiellement, par des Coléoptères dont la présence est, sans doute, en rapport avec les températures et le degré hygrométrique

constamment élevés auxquels sont soumis les stocks de céréales. En effet, les insectes ravageurs peuvent causer des pertes importantes en réduisant la qualité et la quantité des produits stockées (Bounechada, 2011). Parmi ces ravageurs, il y a le *Tribolium castaneum* (Herbst) (*Tribolium* rouge de la farine) qui est, parmi les insectes des stocks, le plus ubiquiste, le plus polyphage et le plus redoutable. Les larves sont mobiles et se nourrissent. Ils sont d'une teinte blanche avec du jaune et passent par 5 à 11 mues avant d'atteindre 5 mm à la fin de leur croissance (figure 1A). A la fin du dernier stade larvaire, les larves s'immobilisent, cessent de se nourrir et se transforment en nymphes immobiles (figure 1B). Ce processus s'étend sur 3 à 9 semaines. Les nymphes se retrouvent, nues, dans les mêmes aliments que les larves. Elles sont blanches au départ mais leur couleur s'assombrit graduellement avant de devenir adultes (figure 1C), ce qui a lieu 9 à 17 jours plus tard. Les adultes se nourrissent des mêmes aliments que les larves et vivent entre 15 et 20 mois.



Figure 1: Larve (A), Nympe(B) et Adulte (C) de *T. castaneum*

Source : <http://www.snv.jussieu.fr/bmedia/ATP/tri-dvt.htm>

On peut rencontrer cinq générations par an. Les adultes et les larves ne s'implantent généralement dans les grains qu'après les attaques de ravageurs primaires qui leur ouvre la porte (Camara, 2009) ou lorsque les grains sont brisés (Seck et al., 1992). Les souillures de *T. castaneum* corrompent de très nombreuses denrées amylacées notamment les farines de céréales (Bonneton, 2010). *T. castaneum* est considéré comme un ravageur secondaire strict causant d'importants dégâts sur les stocks de mil battu dans toutes les zones sahéliennes (Roorda et al., 1982). Les recherches de Seck, (1983) ont montré que l'infestation de *T. castaneum* est plus souvent notée sur le mil battu et conservé en sacs, que sur les épis entiers stockés dans les greniers traditionnels. En plus, l'augmentation du taux de brisure dans le substrat réduit la mortalité larvaire ainsi que la durée du cycle de développement de l'insecte et entraîne une plus grande production de larves et d'adultes par kilogramme de substrat (Seck et al., 1992). Ainsi, l'insecte a été longtemps classé parmi les ravageurs secondaires mais la commission canadienne des grains (CCG) l'a classé actuellement dans le groupe des ravageurs primaires. Pour comprendre cette stratégie, il est fondamental d'avoir une bonne connaissance de la biologie de l'insecte. Afin de comprendre la

biologie de *T. castaneum*, il est essentiel de savoir comment l'insecte réagit face aux différents états du mil (entier, décortiqué, brisé et farine). Des études de Gueye et al., (2012), ont montré que la température ambiante, l'humidité relative de l'air et le type de nourriture (grain entier et farine) ont un effet sur la durée du cycle de développement de *T. castaneum*. Toutefois, peu de données récentes dans la littérature décrivent l'impact des variations du substrat sur les caractères biodémographiques (le nombre de larves et d'adultes, le poids, le sex-ratio des descendants, la durée de développement, etc.) de *T. castaneum*. Les caractères biodémographiques influencent directement la reproduction et la survie et par conséquent affectent la vigueur biologique (Stearns, 1992 ; Daan et Tinbergen, 1997). La présente étude a pour objectif de mieux connaître les paramètres biodémographiques dans le désir de mettre au point des techniques de protection intégrée des stocks dans le respect de l'environnement. Il s'agira alors de déterminer l'effet de l'état du mil (entier, décortiqué, brisé et farine) sur les capacités de développement de *Tribolium castaneum* provenant du mil d'une part et du maïs d'autre part, à la température et à l'humidité relative ambiante.

MATERIEL ET METHODES

Préparation des substrats : Le mil a été d'abord gardé au congélateur pendant 72 heures. Après un rééquilibrage à la température ambiante du laboratoire

pendant 24 heures, les grains ont été séchés au soleil pendant 8 heures. Avec ce mil quatre types de substrats sont préparés : un substrat à base de grains

entiers (non décortiqués), un à base de grains décortiqués, un avec des grains brisés et le dernier avec de la farine en poids respectivement (10g).

Élevage de masse et choix des couples: Les insectes utilisés sont élevés au laboratoire dans des bocaux en verre contenant du mil ou du maïs. L'élevage vise le maintien et la multiplication de la souche afin d'avoir un nombre important d'individus à coupler. Pour obtenir des couples, tous les insectes sont d'abord retirés de l'élevage de masse et trois jours après un tamisage est réalisé. Ensuite, les adultes sont isolés dans des boîtes de Pétri deux jours après pour leur assurer un âge de trois jours. Pour le sexage, Delobel et Tran (1993) ont signalé que chez *T. castaneum*, il y a présence d'un tubercule pilifère arrondi à la base du fémur antérieur chez le mâle qui est absent chez la femelle. Ces derniers sont ensuite placés dans les boîtes de Pétri de 9cm de diamètre et 1.5cm de hauteur contenant la céréale à infester.

Développement de *T. castaneum* sur les quatre substrats: 10 grammes de chaque substrat placés en 20 répétitions dans des boîtes de Pétri stériles, sont infestés avec un couple de *T. castaneum* provenant du mil d'une part et par un couple de *T. castaneum* provenant du maïs d'autre part, âgés de trois jours au moins et de 10 jours au plus pour s'assurer que la ponte a bien commencé (les femelles de *T. castaneum* commencent leur ponte dès l'âge de trois jours). La date d'infestation, correspondant au premier jour de l'expérimentation, est notée. 24h après, les couples sont retirés et les boîtes sont placées dans la salle d'expérimentation. La première expérience est faite avec des *T. castaneum* provenant du mil et la deuxième avec des *T. castaneum* provenant du maïs. L'observation de l'émergence des larves (qui s'effectue journalièrement) commence au dixième jour car il est difficile, voire impossible de compter les œufs, sans apporter un biais à l'expérience. Le nombre total de larves par boîte et par jour est compté. Cette observation de larves est suivie par celle des nymphes. Pour chacun de ces stades de développement, le premier jour d'apparition est noté. Il en est de même

pour l'apparition des adultes. A la fin du développement le nombre d'adultes qui émergent par boîte et par jour est compté. Chaque individu est ensuite pesé moins de 24 heures après son émergence. A l'issu de ces expériences, les paramètres biodémographiques suivants sont déterminés :

- ❖ **Cinétique d'apparition des larves ;**
- ❖ **Nombre de larves par femelle** qui correspond au nombre total de larves émergées ;
- ❖ **durée moyenne ponte-nymphé** qui correspond à la durée qui sépare le jour de ponte et le jour moyen d'apparition des nymphes ;
- ❖ **durée moyenne nymphé-adulte** qui correspond à la durée qui sépare la moyenne d'apparition des nymphes à la moyenne d'apparition des adultes ;
- ❖ **La durée moyenne de développement** est le temps qui sépare l'émission d'un œuf sur une graine et l'émergence des adultes y résultant ;
- ❖ **Le taux de fertilité biaisé :** C'est le rapport entre le nombre d'adultes émergés et le nombre total de larves ;

(TF) = (Nombre d'adultes émergés / nombre total de larves) × 100

- ❖ **Le Poids (P) :** le poids moyen est obtenu en divisant la somme des poids individuels par le nombre d'individus.
- ❖ **Le sex-ratio (R)** qui donne le pourcentage des femelles comparativement à l'ensemble des descendants. Si le sex-ratio est supérieur à 50% alors le sex-ratio est en faveur des femelles dans le cas contraire il est en faveur des mâles.

Analyses statistiques : Le logiciel Excel version 14.0.7140.5002 (32bits) a été utilisé pour faire le traitement des données recueillies. Travaillant sur des effectifs réduits, le test "t" de Student a été utilisée pour la comparaison des moyennes.

RESULTATS

L'étude du développement de *T. castaneum* dans les quatre états du mil, est réalisée à une humidité relative variant entre 41-80% et à des températures oscillant entre 24,5-31°C.

Paramètres biodémographiques de *T. castaneum* provenant du mil sur les quatre substrats

Cinétique d'apparition des larves : Le nombre moyen de larves de *T. castaneum* observé après dix jours d'expérimentation décroît progressivement (figure 2). Le maximum est observé à la première journée d'apparition des larves allant jusqu'à 5,66 sur le mil brisé ; 5,2 sur le mil décortiqué ; 4,22 sur le mil entier et

3,33 sur la farine de mil. Sur le mil entier, il y a une légère hausse du nombre moyen de larves à la troisième journée allant jusqu'à 2,78 par rapport à la

deuxième journée où il a été noté 0,67 comme nombre moyen de larves.

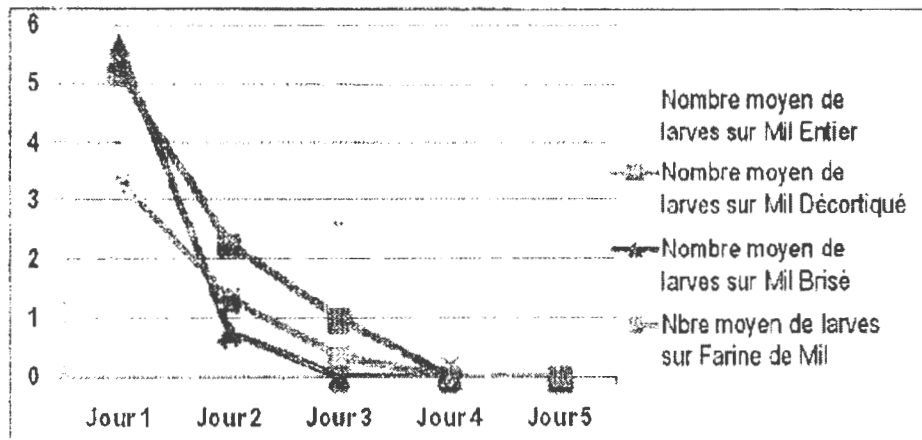


Figure 2 : Cinétique d'apparition des larves de *T. castaneum* provenant du mil sur le mil dans ces quatre états en fonction des jours

Durée moyenne ponte-nymphé : Les paramètres biodémographiques observés varient en fonction des différents substrats du mil (entier, décortiqué, brisé et farine). La durée moyenne ponte-nymphé est de 32,88

$\pm 1,52$ jours dans la farine de mil ; $30,2 \pm 1,2$ jours dans le mil décortiqué ; $26,22 \pm 2,34$ jours dans le mil entier et $24,17 \pm 1,77$ jours dans le mil brisé (tableau 1).

Tableau 1 : Paramètres biodémographiques de *T. castaneum* provenant du Mil à $24,5-31^{\circ}\text{C}$ et à $41-80\%$ H.R.

	Mil Entier	Mil Décortiqué	Mil Brisé	Farine de Mil
Durée moyenne Ponte-Nymphé (jours)	$26,22 \pm 2,34a$	$30,2 \pm 1,2a$	$24,17 \pm 1,77a$	$32,88 \pm 1,52a$
Durée moyenne Nymphé-Adulte (jours)	$6,89 \pm 1,09a$	$7,2 \pm 0,9a$	$6,25 \pm 0,72b$	$8,33 \pm 0,82a$
Durée moyenne de Développement (jours)	$33,11 \pm 3,21 a$	$37,4 \pm 1,9 a$	$30,42 \pm 2,02b$	$41,55 \pm 2,54 a$
Nombre de larves	73	36	77	45
Nombre d'adultes	69	36	77	39
Taux de Fertilité biaisé	91%	100%	100%	84,31%
Poids moyen (mg)	$1,93 \pm 0,11a$	$1,72 \pm 0,12 a$	$1,81 \pm 0,09b$	$1,9 \pm 0,1a$
Sex-ratio	62,96%	36 11%	41,79%	35,48%

Pour chaque paramètre les moyennes suivies par la même lettre indique que les valeurs ne diffèrent pas entre elles au seuil de risque $\alpha = 0,05$ (test de Student). En outre, la comparaison des durées moyennes ponte-nymphé n'est pas significative au seuil de risque $\alpha = 0,05$ quelque soit le type de substrat.

Durée moyenne nymphé-Adulte : La durée moyenne nymphé-adulte est de $6,89 \pm 1,09$ jours dans le mil entier ; $7,2 \pm 0,9$ jours dans le mil décortiqué ; $6,25 \pm$

$0,72$ jours dans le mil brisé et $8,33 \pm 0,82$ jours dans la farine de mil. La différence des durées moyennes nymphé-adulte n'est pas significative au seuil de risque $\alpha = 0,05$ entre *T. castaneum* dans le mil décortiqué et *T. castaneum* dans le mil entier ($p = 0,11 > 0,05$) de même qu'entre la farine de mil et le mil brisé ($p = 0,5 > 0,05$). Ces mêmes résultats sont retrouvés entre le mil brisé et le mil entier ($p = 0,23 > 0,05$). Par ailleurs, la différence des durées moyennes nymphé-adulte est

significative au seuil de risque $\alpha = 0,05$ entre *T. castaneum* dans le mil brisé et *T. castaneum* dans le mil décortiqué ($p = 0,04 < 0,05$).

Durée moyenne de développement : La durée moyenne du cycle de développement est de $33,11 \pm 3,21$ jours dans le mil entier ; $37,4 \pm 1,9$ jours dans le mil décortiqué ; $30,42 \pm 2,02$ jours dans le mil brisé et $41,65 \pm 2,5$ jours dans la farine de mil (tableau 1). La différence des durées moyennes de développement est significative au seuil de risque $\alpha = 0,05$ entre les individus de *T. castaneum* qui ont bouclé leur cycle sur le mil brisé et ceux bouclant leur cycle sur le mil décortiqué ($p = 0,047 < 0,05$).

Nombre de larves, d'adultes et taux de fertilité biaisé : Il y a plus de larves dans le mil brisé (77 larves) qui ont toutes émergé pour donner 77 adultes. Le nombre de larves est de 73 dans le mil entier pour 69 adultes émergés. Dans la farine de mil, il a été dénombré 45 larves pour 39 adultes. Le nombre de larves est plus faible dans le mil décortiqué avec 36 larves qui ont tous émergés pour donner le même nombre d'adultes (tableau 1).

Le taux de fertilité biaisé est de 100% dans le mil décortiqué et le mil brisé. Ce taux diminue dans le mil entier avec 91% et dans la farine de mil 84,31% (tableau 1).

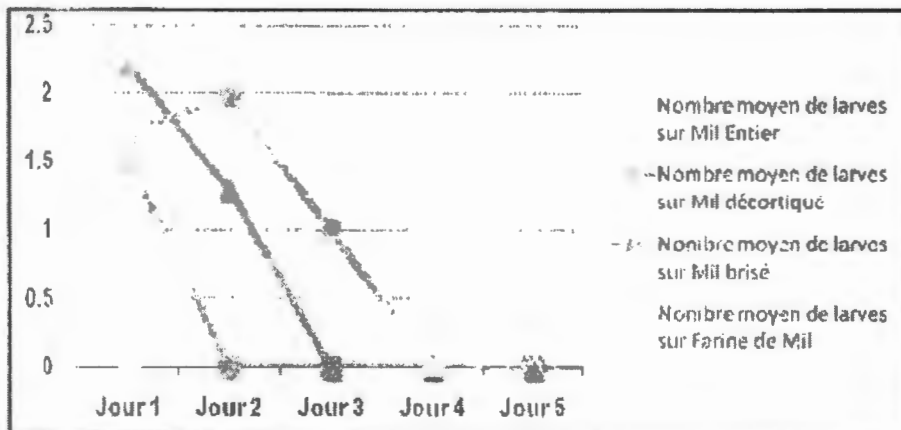
Poids des adultes : Les insectes qui émergent dans chaque aliment sont pesés individuellement 24h après leur sortie. Nos résultats indiquent que le poids moyen de *T. castaneum* est de $1,93 \pm 0,11$ mg dans le mil entier ; $1,72 \pm 0,12$ mg dans le mil décortiqué ; $1,81 \pm$

$0,09$ mg dans le mil brisé et $1,9 \pm 0,1$ mg dans la farine de mil (tableau 1). La différence des poids moyens est très significative au seuil de risque $\alpha = 0,05$ entre les *T. castaneum* qui ont bouclé leur cycle sur le mil brisé et ceux bouclant leur cycle sur le mil décortiqué ($p = 0,005 < 0,05$). En outre, la différence n'est pas significative au seuil de risque $\alpha = 0,05$ entre *T. castaneum* dans le mil décortiqué et *T. castaneum* dans le mil entier ($p = 0,052 > 0,05$) de même qu'entre la farine de mil et le mil brisé ($p = 0,06 > 0,05$). Ces mêmes résultats sont retrouvés entre le mil brisé et le mil entier ($p = 0,07 > 0,05$).

Sex-ratio : Le sex-ratio (pourcentage de femelle) est en faveur des mâles de *T. castaneum* aussi bien dans le mil brisé (41,79%) ; le mil décortiqué (36,11%) et la farine de mil (35,48%). Cependant, il y a un nombre important de femelle dans le mil entier (62,96%).

Paramètres biodémographiques de *T. castaneum* provenant du maïs sur les quatre substrats

Cinétique d'apparition des larves : Le nombre moyen de larves de *T. castaneum* observé après dix jours d'expérimentation décroît progressivement (figure 3). Il est plus important au premier jour d'apparition allant jusqu'à 2,2 sur le mil brisé ; 1,7 sur la farine de mil et 1,5 sur le mil décortiqué. Une légère hausse du nombre moyen de larves à la deuxième journée d'observation sur la farine de mil (2) par rapport à la première journée d'observation (1,7) est aussi notée. Il n'y a pas eu de développement sur le mil entier, d'où l'absence de larves.



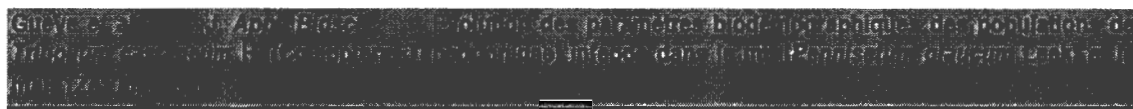


Figure 3 : Cinétique d'apparition des larves de *T. castaneum* provenant du maïs sur le mil dans ces quatre états en fonction des jours

Durée moyenne ponte-nymphé : Nos résultats indiquent que la durée moyenne ponte-nymphé de *T. castaneum* est de $62,45 \pm 6,84$ jours dans la farine de mil ; $57 \pm 6,3$ jours dans le mil brisé et $50,5 \pm 0,5$ jours dans le mil décortiqué. Il n'y a pas eu de

développement de *T. castaneum* provenant du maïs sur le mil entier. Même après cinq jours d'infestation, aucun développement n'a été observé. Ainsi, les paramètres biodémographiques ne sont pas déterminés (tableau 2).

Tableau 2 : Paramètres biodémographiques de *T. castaneum* provenant du maïs sur les quatre états du mil à 24,5-31°C et à 41-80% H.R.

	Mil Entier	Mil Décortiqué	Mil Brisé	Farine de Mil
Durée moyenne Ponte-Nymphé (jours)	—	$50,5 \pm 0,5a$	$57 \pm 6,3b$	$62,45 \pm 6,84c$
Durée moyenne Nymphé-adulte (jours)	—	$6 \pm 1a$	$16,4 \pm 1,02 b$	$16 \pm 1,4c$
Durée moyenne de Développement (jours)	—	$56 \pm 1,5a$	$73,4 \pm 6,5 b$	$78,45 \pm 6,05c$
Nombre de larves	—	3	17	30
Nombre d'adultes	—	3	12	26
Taux Fertilité biaisé	—	100%	81%	90,91%
Poids moyens (mg)	—	$1,55 \pm 0,05a$	$2,04 \pm 0,21c$	$1,9 \pm 0,21a$
Sex-ratio	—	33,33%	50%	38,26%

Pour chaque paramètre les moyennes suivies par la même lettre indique que les valeurs ne diffèrent pas entre elles au seuil de risque $\alpha = 0,05$ (test de Student). En outre, la différence des durées moyennes ponte-nymphé est significative au seuil de risque $\alpha = 0,05$ entre les *T. castaneum* qui ont bouclé leur cycle sur la farine de mil et ceux bouclant leur cycle sur le mil brisé ($p = 0,021 < 0,05$). Par ailleurs, la durée moyenne ponte-nymphé est hautement significative au seuil de risque $\alpha = 0,05$ entre les *T. castaneum* dans la farine de mil et les *T. castaneum* dans le mil décortiqué ($p = 0,0009 < 0,05$). La différence n'est pas significative au seuil de risque $\alpha = 0,05$ entre les populations de *T. castaneum* ayant bouclé leur cycle dans le mil brisé et ceux ayant évolué dans le mil décortiqué ($p = 0,11 > 0,05$).

Durée moyenne nymphé-adulte : La durée moyenne nymphé-adulte est de $16,4 \pm 1,02$ jours dans le mil brisé et $16 \pm 1,4$ jours dans la farine de mil. Cette durée est de 6 ± 1 jour dans le mil décortiqué (tableau 2). La différence des durées moyennes nymphé-adulte est significative au seuil de risque $\alpha = 0,05$ entre *T. castaneum* dans le mil brisé et *T. castaneum* dans le mil décortiqué ($P = 0,03 < 0,05$; de même que dans la farine de mil et le mil brisé ($P = 0,029 < 0,05$). La

différence est hautement significative au seuil de risque $\alpha = 0,05$ entre les individus de *T. castaneum* ayant bouclé leur cycle dans la farine de mil et ceux ayant évolué dans le mil décortiqué ($P = 0,0002 < 0,05$).

Durée moyenne de développement : La durée moyenne du cycle de développement de *T. castaneum* provenant du maïs est de $78,45 \pm 6,05$ jours dans la farine de mil ; $73,4 \pm 6,5$ jours dans le mil brisé et $56,5 \pm 1,5$ jours dans le mil décortiqué (tableau 2). La différence est significative au seuil de risque $\alpha = 0,05$ entre les *T. castaneum* qui ont bouclé leur cycle sur la farine de mil et ceux bouclant leur cycle sur le mil brisé ($p = 0,02 < 0,05$). La comparaison des durées moyennes de développement entre les populations de *T. castaneum* dans la farine de mil et *T. castaneum* dans le mil décortiqué, révèle une valeur de $p = 0,0009 < 0,05$. La différence entre les durées moyennes de développement des populations de *T. castaneum* issues de la farine de mil et le mil décortiqué est hautement significative au seuil de risque $\alpha = 0,05$. La différence n'est pas significative au seuil de risque $\alpha = 0,05$ entre les individus de *T. castaneum* ayant bouclé leur cycle dans le mil brisé et ceux ayant évolué dans le mil décortiqué ($p = 0,08 > 0,05$).

Nombre de larves, d'adultes et taux de fertilité biaisé: Le nombre de larves pour *T. castaneum* provenant du maïs est plus important dans la farine de mil (30 larves) avec 26 adultes émergés. Sur le mil brisé, il y a eu 17 larves pour 12 adultes émergés et dans le mil décortiqué il a été dénombré 3 larves qui se sont tous développés correctement pour donner 3 adultes. Le taux de fertilité biaisé est de 100% sur le mil décortiqué, 90,91% sur la farine de mil et le plus faible taux est observé sur le mil brisé avec 81% (tableau 2).

Poids des adultes: Le poids moyen des *T. castaneum* émergés sur le mil brisé est de $2,04 \pm 0,21$ mg; dans la farine de mil il est de $1,9 \pm 0,21$ mg et $1,55 \pm 0,05$ mg dans le mil décortiqué (tableau 2). La différence des poids moyens est hautement significative au seuil de risque $\alpha = 0,05$ entre les *T. castaneum* qui ont bouclé leur cycle sur la farine de mil et ceux bouclant leur cycle sur le mil décortiqué ($P = 0,0007 < 0,05$). En outre, la différence n'est pas significative au seuil de risque $\alpha = 0,05$ entre les *T. castaneum* dans le mil brisé et les *T. castaneum* dans le mil décortiqué ($p = 0,084 > 0,05$). La comparaison des poids moyens entre les populations de *T. castaneum* dans la farine de mil et les *T. castaneum* dans le mil brisé, révèle une valeur de $p = 0,04 < 0,05$. La différence entre les poids moyens des populations de *T. castaneum* issues de la

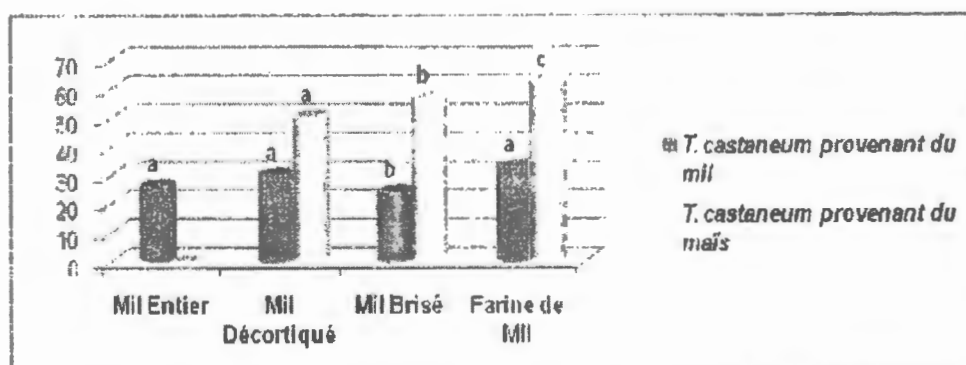
farine de mil et le mil brisé est significative au seuil de risque $\alpha = 0,05$.

Sex-ratio: Pour le sex-ratio, il y a presque un équilibre entre mâle et femelle sur le mil brisé. Le nombre de femelle est faible sur la farine de mil avec un sex-ratio de 38,26% et sur le mil décortiqué avec 33,33% comme sex-ratio (tableau 2).

Comparaison des paramètres biodémographiques selon les substrats et l'origine de *T. castaneum*

Durée moyenne ponte-nymphé: Les paramètres biodémographiques varient selon la provenance de *T. castaneum* (figure 4). Dans le mil entier, la durée ponte-nymphé est $26,22 \pm 2,34$ jours pour *T. castaneum* provenant du mil. Il n'y a pas eu de développement de *T. castaneum* provenant du maïs dans le mil entier même après cinq jours d'infestation.

Dans le mil décortiqué, la durée moyenne ponte-nymphé est de $50,5 \pm 0,5$ jours pour *T. castaneum* provenant du maïs et $30,2 \pm 1,2$ jours pour *T. castaneum* provenant du mil. La durée moyenne ponte-nymphé dans le mil brisé est de $57 \pm 6,3$ jours pour *T. castaneum* provenant du maïs et $24,17 \pm 1,77$ jours pour *T. castaneum* provenant du mil. Dans la farine de mil, cette durée est de $62,45 \pm 6,84$ jours pour *T. castaneum* provenant du maïs et $32,88 \pm 1,52$ jours pour *T. castaneum* provenant du mil.



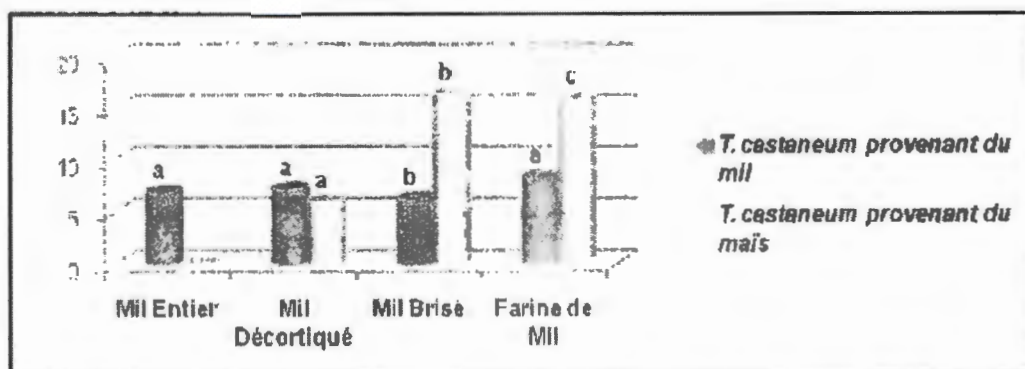
Pour chaque substrat du mil, la même lettre sur les histogrammes montre que les valeurs ne diffèrent pas entre elles au seuil $p < 0,05$ (test de Student).

Figure 4: Durées moyennes ponte-nymphé de *T. castaneum* en fonction de sa provenance et de la nature du substrat

En outre, dans le mil décortiqué, la différence des durées moyennes ponte-nymphes n'est pas significative au seuil de risque $\alpha = 0.05$ entre *T. castaneum* provenant du mil et *T. castaneum* provenant du maïs ($p = 0.31 > 0.05$); de même que dans le mil brisé ($p = 0.48 > 0.05$). En revanche, dans la farine de mil, la différence des durées moyennes ponte-nymphes est significative au seuil de risque $\alpha = 0.05$ entre *T. castaneum* provenant du mil et *T. castaneum* provenant du maïs ($p = 0.02 < 0.05$).

Durée moyenne nymphe-adulte : Dans le mil entier, la durée nymphe-adulte est de 6.89 ± 1.09 jours pour

T. castaneum provenant du mil (figure 5). Cette durée dans le mil décortiqué est de 7.2 ± 0.9 jours pour *T. castaneum* provenant du mil et 6 ± 1 jours pour *T. castaneum* provenant du maïs. Dans le mil brisé, la durée nymphe-adulte est de 6.25 ± 0.72 jours pour *T. castaneum* provenant du mil et 16.4 ± 1.02 jours pour *T. castaneum* provenant du maïs. En plus, dans la farine de mil, cette durée moyenne est de 8.33 ± 0.82 jours pour *T. castaneum* provenant du mil et 16 ± 1.4 jours pour *T. castaneum* provenant du maïs (figure 5).



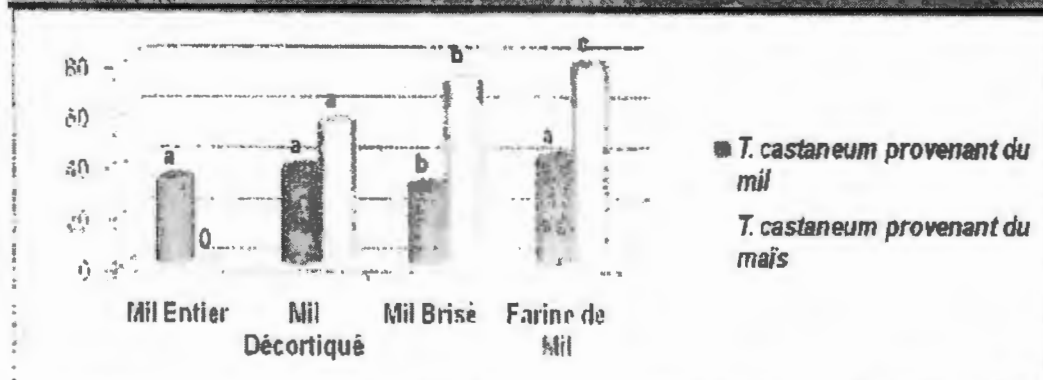
Pour chaque substrat du mil, la même lettre sur les histogrammes montre que les valeurs ne diffèrent pas entre elles au seuil $p < 0.05$ (test de Student).

Figure 5 : Durées moyennes nymphe-adulte de *T. castaneum* en fonction de sa provenance et de la nature du substrat

En plus, dans le mil décortiqué, la différence des durées moyennes nymphe-adulte n'est pas significative au seuil de risque $\alpha = 0.05$ entre *T. castaneum* provenant du mil et *T. castaneum* provenant du maïs ($p = 0.06 > 0.05$); de même que dans le mil brisé ($p = 0.41 > 0.05$). Cependant, dans la farine de mil, la différence des durées moyennes nymphe-adulte est significative au seuil de risque $\alpha = 0.05$ entre *T. castaneum* provenant du mil et *T. castaneum* provenant du maïs ($p = 0.015 < 0.05$).

Durée moyenne de développement : La durée nymphe-adulte dans le mil entier est de 33.11 ± 3.21 jours pour *T. castaneum* provenant du mil (figure 6).

Dans le mil décortiqué, la durée moyenne de développement est 56.5 ± 1.5 jours pour *T. castaneum* provenant du maïs et 37.4 ± 1.9 jours pour *T. castaneum* provenant du mil. Ainsi, la durée moyenne de développement dans le mil brisé est de 73.4 ± 6.5 jours pour *T. castaneum* provenant du maïs et 30.42 ± 2.02 jours pour *T. castaneum* provenant du mil. Dans la farine de mil, cette durée est de 78.45 ± 6.05 jours pour *T. castaneum* provenant du maïs et 41.55 ± 2.54 jours pour *T. castaneum* provenant du mil (figure 6).



Pour chaque substrat du mil, la même lettre sur les histogrammes montre que les valeurs ne diffèrent pas entre elles au seuil $p < 0.05$ (test de Student).

Figure 6 : Durées moyennes de développement de *T. castaneum* en fonction de sa provenance et de la nature du substrat.

En plus, dans le mil décortiqué, la différence des durées moyennes de développement n'est pas significative entre *T. castaneum* provenant du mil et *T. castaneum* provenant du maïs ($p = 0.26 > 0.05$) de même que dans le mil brisé ($p = 0.49 > 0.05$). Cependant, dans la farine de mil, la comparaison des durées moyennes de développement entre les populations de *T. castaneum* provenant du mil et *T. castaneum* provenant du maïs, révèle une valeur de $p = 0.01 < 0.05$. La différence entre les durées moyennes de développement est significative au seuil de risque alpha < 0.05 .

Nombre de larves, d'adultes et taux de fertilité biaisé. Pour *T. castaneum* provenant du mil, le nombre de larves est de 73 dans le mil entier pour 69 adultes émergés. Le taux de fertilité biaisé est de 91%. Sur le mil décortiqué le nombre de larves est plus important pour *T. castaneum* provenant du mil (76 larves) que pour *T. castaneum* provenant du maïs (70 larves). Toutes ces larves ont émergés pour donner

des adultes. Ainsi, le taux de fertilité biaisé est de 100% aussi bien pour *T. castaneum* provenant du maïs que pour *T. castaneum* provenant du mil. Le nombre de larves dans le mil brisé est plus important pour *T. castaneum* provenant du mil (77 larves) que pour *T. castaneum* provenant du maïs (17 larves). Ainsi pour *T. castaneum* provenant du mil toutes les larves ont émergés (77 adultes) d'où un taux de fertilité biaisé de 100%. Par contre, pour *T. castaneum* provenant du maïs, 12 adultes sur les 17 larves ont émergés et le taux de fertilité biaisé est de 81%. Dans la farine de mil, sur les 45 larves dénombrées pour *T. castaneum* provenant du mil, seule 39 adultes ont émergés, d'où un taux de fertilité biaisé de 84,31%. Par contre, pour *T. castaneum* provenant du maïs, 26 adultes ont émergés sur les 30 larves ; d'où un taux de fertilité biaisé plus élevé (90,91%). Les résultats sont consignés dans le tableau 3.

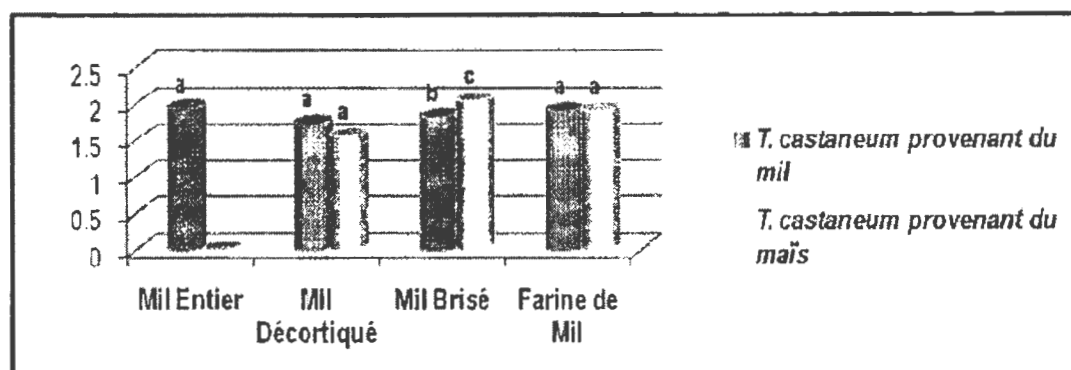
Tableau 3 : Comparaison des nombres de larves, d'adultes et du taux de fertilité biaisé de *T. castaneum* en fonction de sa provenance et de la nature du substrat

	Nombre de larves	Nombre d'adultes	Taux de fertilité biaisé
<i>T. castaneum</i> provenant du mil	73	69	91%
<i>T. castaneum</i> provenant du maïs	70	12	81%
<i>T. castaneum</i> provenant du mil	76	77	100%
<i>T. castaneum</i> provenant du maïs	30	26	90,91%

	<i>T. castaneum</i> provenant du maïs	3	3	100%
Mil Brisé	<i>T. castaneum</i> provenant du mil	77	77	100%
	<i>T. castaneum</i> provenant du maïs	17	12	81%
Farine de Mil	<i>T. castaneum</i> provenant du mil	45	39	84,41%
	<i>T. castaneum</i> provenant du maïs	30	26	90,91%

Poids moyen des adultes : Nos résultats indiquent que le poids moyen de *T. castaneum* est de $1,93 \pm 0,11$ mg dans le mil entier pour *T. castaneum* provenant du mil (figure 6). Dans le mil décortiqué, le poids moyen des insectes est $1,72 \pm 0,12$ mg pour *T. castaneum* provenant du mil et $1,55 \pm 0,05$ mg pour *T. castaneum* provenant du maïs. Le poids moyen des

insectes dans le mil brisé est $2,04 \pm 0,21$ mg pour *T. castaneum* provenant du maïs et $1,81 \pm 0,09$ mg pour *T. castaneum* provenant du mil. Dans la farine de mil, le poids des insectes émergés est de $1,9 \pm 0,21$ mg pour *T. castaneum* provenant du maïs et $1,9 \pm 0,1$ mg pour *T. castaneum* provenant du mil (figure 7).



Pour chaque substrat du mil, la même lettre sur les histogrammes montre que les valeurs ne diffèrent pas entre elles au seuil $p < 0,05$ (test de Student).

Figure 7 : Poids moyens de *T. castaneum* en fonction de sa provenance et de la nature du substrat

En outre, dans le mil décortiqué, la différence des poids moyens n'est pas significative entre *T. castaneum* provenant du mil et *T. castaneum* provenant du maïs ($p = 0,11 > 0,05$) ; de même que dans la farine de mil ($p = 0,28 > 0,05$). En revanche, dans le mil brisé, il est à noter que la différence des poids moyens des insectes émergés est très significative entre *T. castaneum* provenant du mil et *T. castaneum* provenant du maïs ($p = 0,006 < 0,05$).

Sex-ratio : Dans le mil entier, le sex-ratio est en faveur des femelle pour *T. castaneum* provenant du mil (62,96%) Cependant, il y a un nombre important de mâles dans le mil décortiqué quelque soit la

provenance de *T. castaneum*. Dans le mil brisé, le nombre de mâle et de femelle sont presque égaux pour *T. castaneum* provenant du maïs. Par contre, il y a plus de mâle chez *T. castaneum* provenant du mil avec un sex-ratio de 41,79%. Dans la farine de mil, le sex-ratio est en faveur des mâles quelque soit la provenance de *T. castaneum*. Mais, le nombre de mâle reste plus important pour *T. castaneum* provenant du mil (35,48%) que pour *T. castaneum* provenant du maïs avec un sex-ratio de 38,26%. Les résultats sont résumés dans le tableau 4.

Tableau 4 : Comparaison du Sex-ratio de *T. castaneum* en fonction de sa provenance et de la nature du substrat

		Nombre de mâle	Nombre de femelle	Sex-ratio
Mil Entier	<i>T. castaneum</i> provenant du mil	20	34	62,96%
	<i>T. castaneum</i> provenant du maïs	—	—	—
Mil Décortiqué	<i>T. castaneum</i> provenant du mil	23	13	36,11%
	<i>T. castaneum</i> provenant du maïs	2	1	33,33%
Mil Brisé	<i>T. castaneum</i> provenant du mil	39	28	41,79%
	<i>T. castaneum</i> provenant du maïs	6	6	50%
Farine de Mil	<i>T. castaneum</i> provenant du mil	20	11	35,48%
	<i>T. castaneum</i> provenant du maïs	16	10	38,26%

DISCUSSION

Le but spécifique de cette étude est de déterminer, l'effet des différents substrats du mil (entier, décortiqué, brisé et farine) sur les capacités de développement de *T. castaneum*, à la température et à l'humidité relative ambiante. C'est pour cette raison que nous avons effectué des infestations contrôlées de *T. castaneum* provenant du mil d'une part et du maïs d'autre part, afin de suivre l'évolution des paramètres biodémographique. Les résultats obtenus pour *T. castaneum* provenant du mil montre que le nombre moyen de larves est plus important au premier jour d'observation allant jusqu'à 5,66 sur le mil brisé ; 5,2 sur le mil décortiqué ; 4,22 sur le mil entier et 3,33 sur la farine de mil. Ce nombre diminue allant jusqu'à s'annuler à la troisième journée d'apparition dans le mil brisé et à la quatrième journée d'apparition dans le mil décortiqué et la farine de mil. Alors que dans le mil entier, ce nombre moyen de larves augmente à la troisième journée d'apparition puis diminue jusqu'à s'annuler à la cinquième journée. Ce constat montre que le mil entier est favorable au développement de *T. castaneum*. Mais, selon Delobel et Tran, (1993) *T. castaneum* n'attaque pas les grains intacts mais des lésions microscopiques suffisent pour permettre à l'insecte d'entamer le grain. Ce qui est différent de nos résultats car les boîtes qui renfermaient du mil entier ont donné plus d'émergence de larves que celles renfermant du mil décortiqué et farine de mil. Ainsi, ce niveau d'infestation larvaire noté sur le mil entier est suffisant pour nuancer l'idée de Roorda et al. (1982) selon laquelle, l'insecte est incapable d'attaquer les

grains entiers. Par ailleurs, la différence des durées moyennes nymphe-adulte et des durées moyennes de développement est significative entre *T. castaneum* sur mil brisé et *T. castaneum* sur mil décortiqué. Il apparaît que la durée moyenne du cycle de développement de *T. castaneum* dépend à la fois de l'humidité, de l'état du support alimentaire (mil décortiqué ou mil brisé) et de la protection du grain. Le développement de *T. castaneum* est plus rapide dans le mil brisé ($30,42 \pm 2,02$ jours) que dans le mil décortiqué ($37,4 \pm 1,9$ jours). En effet La protection du grain a été mise en évidence par Seck et al. (1992), qui selon eux, les brisures sur les grains de mil favorisent le développement de *T. castaneum*. En revanche, le ralentissement du développement de *T. castaneum* dans le mil décortiqué peut s'expliquer par le fait que pendant le décorticage, le son et une partie du germe sont éliminés (Afrique Vert et INRAN, 2007). Ceci entraîne une diminution de la valeur énergétique donc un ralentissement du développement de l'insecte. Aussi, Delobel et Tran, (1993) affirment que chez *T. castaneum*, seul le germe est consommé la plupart du temps, donc son élimination pourrait entraîner un ralentissement du développement de l'insecte. En plus, le nombre de larves est plus important dans le mil brisé, ces larves ont toutes émergé pour donner 77 adultes, d'où un taux de fertilité biaisé de 100%, de même que dans le mil décortiqué où il a été dénombré moins de larve (36) et le taux de fertilité biaisé est de 100%. Dans le mil entier, le nombre de larves est important mais avec un taux de fertilité biaisé de 91%,

car il y a eu 69 adultes qui ont émergé sur les 73 larves. Ce taux de fertilité biaisé est plus petit dans la farine de mil (84,31%) où 39 adultes ont émergé sur les 45 larves. Ces résultats sont acceptables pour différencier ceux de Goergen et al. (2005) qui ont signalé *T. castaneum* comme ravageur de type secondaire. Car, *T. castaneum* a été longtemps classé parmi les ravageurs secondaires mais la commission canadienne des grains (CCG) l'a classé actuellement dans le groupe des ravageurs primaires. Par ailleurs, la différence des poids moyens est très significative entre les *T. castaneum* qui ont bouclé leur cycle dans le mil brisé et les *T. castaneum* bouclant leur cycle dans le mil décortiqué. En effet, le poids moyen des insectes dans le mil brisé ($1,81 \pm 0,09$ mg) est supérieur à celui obtenu dans le mil décortiqué ($1,72 \pm 0,12$ mg). En effet, la croissance pondérale des insectes dépend de l'état du mil. En effet, il faut rappeler que pour le mil brisé c'est du mil entier, non décortiqué et brisé à 50% donc il renferme les mêmes éléments nutritifs que le mil entier. En plus, selon Vanier (2005) les principaux composants du grain de mil entier sont le germe, le son et l'endosperme. Comparé au germe des autres céréales, celui du mil occupe une plus grande proportion du grain entier. Puisqu'une grande part des nutriments (vitamines, minéraux, protéines et lipides) est contenue dans le germe, cela confère au mil entier une bonne valeur nutritive. Mais, la teneur et la disponibilité de la plupart de ces nutriments sont diminuées par le décortiquage et les différents procédés de raffinage du grain. En ce qui concerne le sex-ratio, il est resté globalement en faveur des mâles dans le mil décortiqué, mil brisé et farine de mil. Par contre, dans le mil entier, il est en faveur des femelles (62,96%). Dans ce cas, les femelles l'emportent sur les mâles et tendent à avoir une certaine domination dans l'infestation du mil entier, ce qui pourrait accentuer l'infestation au moment du stockage puis qu'il y aura plus d'œufs pondus d'où l'importance des dégâts. *T. castaneum* provenant du mil est donc capable de se développer sur le mil entier, le mil décortiqué, le mil brisé et la farine de mil et ceci dès le stockage. Les résultats obtenus pour *T. castaneum* provenant du maïs montre que le nombre moyen de larves de *T. castaneum* est plus important au premier jour d'apparition allant jusqu'à 2,2 dans le mil brisé, 1,7 dans la farine de mil et 1,5 dans le mil décortiqué. Ce nombre diminue au deuxième et troisième jour allant jusqu'à s'annuler à la deuxième journée dans le mil décortiqué et à la troisième journée dans le mil brisé.

Alors que, dans la farine de mil ce nombre moyen de larves augmente à la deuxième journée, il diminue au troisième jour allant jusqu'à s'annuler à partir de la quatrième journée. Il faut rappeler qu'il n'y a pas eu de développement dans le mil entier. En effet, l'origine de *T. castaneum* pourrait avoir une influence sur le développement de cet insecte dans le mil entier, car *T. castaneum* provenant du maïs semble avoir un problème d'adaptation dans le mil entier. Pour les durées moyennes ponte-nymph, il y a une différence hautement significative entre *T. castaneum* dans la farine de mil et *T. castaneum* dans le mil décortiqué. Aussi, cette différence de la durée moyenne ponte-nymph est significative entre *T. castaneum* dans la farine de mil et *T. castaneum* dans le mil brisé. Il en est de même pour les durées moyennes nymph-adulte et les durées moyennes de développement. Ainsi, la durée moyenne de développement est plus longue dans la farine de mil ($78,45 \pm 6,05$ jours) que dans le mil brisé ($73,4 \pm 6,5$ jours) et le mil décortiqué ($56 \pm 1,5$ jours). En effet, la température n'étant pas fixe durant nos expériences ce qui pourrait accentuer les différences notées. Car, la température aussi agit sur la durée du cycle de développement des insectes. Ainsi, selon Kafka, (2009) une température de 32°C accélère la durée de développement embryonnaire (3 jours) de *T. castaneum*, 25°C ralentit le développement embryonnaire (7 jours) et pour une température de 23°C et 18°C, les embryons ne se développent pas, les larves qui éclosent ne se développent pas, les adultes survivent mais ont besoin de température plus élevée durant une semaine pour produire à nouveau la progéniture normale. En revanche, ces durées moyennes de développement peuvent différer significativement entre *T. castaneum* dans la farine de mil et *T. castaneum* dans le mil brisé car, selon Mbengue, (1985) la farine de mil et le mil brisé renferme 30 à 35% d'eau ce qui pourrait avoir une influence sur les durées moyennes de développement des *T. castaneum* provenant du maïs. Cette différence pourrait aussi être due au fait que les *T. castaneum* utilisés sont issus du maïs et pourraient avoir du mal à s'adapter et à se développé rapidement sur les différents substrats du mil. En plus, Diome et al. (2014) ont montré que le cycle de développement de *T. castaneum* peut différer entre populations inféodées dans une même céréale et que la différenciation génétique y jouerait un rôle très important. Trois larves ont été dénombrées sur le mil décortiqué, ces larves ont tous émergé pour donner trois adultes d'où un taux

de fertilité biaisé de 100%. Le plus grand nombre de larves a été noté dans la farine de mil avec un taux de fertilité biaisé de 90,91%. En effet, dans la farine de mil il y a une plus grande superficie de contact et d'utilisation facile des éléments nutritifs du fait de l'élimination des enveloppes et la réduction du grain en particules fines. Aussi, il y a eu plus de mortalité larvaire dans le mil brisé d'où un taux de fertilité biaisé de 81%. Ces résultats sont différents de ceux de Seck et al. (1982) qui rapportent qu'une augmentation du taux de brisure dans le substrat réduit la mortalité larvaire. Par ailleurs, la croissance pondérale des insectes dépend en premier lieu de la nature du support alimentaire et de la protection des grains. En effet, suivant nos résultats, ces phénomènes sont plus importants sur le mil brisé. La différence des poids moyens est significative entre les individus de *T. castaneum* qui ont bouclé leur cycle dans la farine de mil et les individus de *T. castaneum* bouclant leur cycle dans le mil brisé. Le poids de *T. Castaneum* est plus important dans le mil brisé que dans la farine de mil. Dans ce cas, il faut noter que les dégâts sont plus importants dans le mil brisé. Ces résultats concordent avec ceux de Bekon et Fleurat-Lessard, (1989) qui ont expliqué que *T. castaneum* cause plus de dégâts sur le mil brisé ou sur des grains de mil entier auparavant troués par des ravageurs primaires. Le sex-ratio est resté globalement en faveur des mâles pour les *T. castaneum* provenant du maïs quelque soit l'état du mil. Mais, il faut noter qu'il y a un équilibre entre les mâles et les femelles dans le mil brisé et ceci pourrait intensifier l'infestation lors du stockage. *T. castaneum* provenant du maïs pourrait avoir des problèmes d'adaptation dans le mil entier. Mais, il est capable de se développer sur le mil décortiqué, brisé ou transformé en farine. Cependant, en comparant les paramètres biodémographiques entre *T. castaneum* provenant du mil et *T. castaneum* provenant du maïs, le constate est que dans la farine de mil, il y a une différence significative entre *T. castaneum* provenant du mil et *T. castaneum* provenant du maïs pour les durées moyennes ponte-nymphé, nymphé-adulte et de développement. Ainsi, dans la farine de mil, la durée moyenne de développement est plus importante pour *T. castaneum* provenant du maïs ($78,45 \pm 6,05$ jours) que pour *T. castaneum* provenant du mil ($41,55 \pm 2,54$ jours). En effet, les insectes se sont développés sur le même support alimentaire qui est la farine de mil et celle-ci renferme les mêmes éléments nutritifs. Donc l'origine de *T. castaneum* semble avoir une influence

sur le développement de l'insecte. En plus, pour le nombre de larve, le constat est qu'il y a une différence significative en faveur des *T. castaneum* issus du mil quelque soit l'état du mil à l'exception du mil entier. En effet, *T. castaneum* est un coléoptère capable de se développer sur plusieurs céréales (Delobel et Tran, 1993). Ainsi, il a été noté que l'origine de *T. castaneum* influe aussi bien sur le développement de l'insecte mais aussi sur le nombre d'émergence de larves et d'adultes. Dans ce cas, il y a une certaine préférence de *T. castaneum* pour le mil particulièrement quand ce dernier y provient. En effet, Sembène et Delobel, (2004) ensuite Sembène et al. (2012), travaillant sur le déterminisme du choix du substrat de ponte par des souches du Bruche de l'arachide *Caryedon serratus*, issues d'hôtes différents, ont montré que les souches évoluent selon le principe de sélection d'hôte de Hopkins puisque la ponte se fait de manière privilégiée sur la plante d'où est issue la femelle. Ainsi, selon ce principe de Hopkins (1917), cité par Sembène et Delobel, (2004) certains insectes polyphages se développent au dépend de plusieurs hôtes, auraient tendance à pondre sur la même plante que celle où elles ont effectué leur développement. Il se produirait chez les femelles pondueuses, au stade larvaire, une mémorisation du substrat de ponte qui serait conservée chez l'adulte après nymphose. C'est ce qui explique dans ce cas, un nombre plus important de larves et d'adultes sur les différents substrats du mil pour *T. castaneum* provenant du mil par rapport aux *T. castaneum* issus du maïs. En ce qui concerne le poids moyens des insectes, il y a une différence significative entre *T. castaneum* provenant du mil et *T. castaneum* provenant du maïs dans le mil brisé. Cette différence de poids moyens n'est pas significative dans le mil décortiqué et la farine de mil. En effet, dans le mil brisé le poids moyens est plus important pour *T. castaneum* provenant du maïs ($2,04 \pm 0,21$ mg) que pour *T. castaneum* issus du mil ($1,81 \pm 0,09$ mg). Ainsi, on peut dire que l'origine de *T. castaneum* peut influencer le devenir du poids des insectes. Par ailleurs, des travaux de Guaye et al. (2012), ont montré que des *T. Castaneum* issus du mil sont capables de se développés dans les grains de maïs et de mil dès leur stockage. En plus, ces *T. castaneum* élevés sur des grains de maïs ont un poids moyen supérieur aux *T. castaneum* qui se sont développés dans le mil. Aussi, selon ces auteurs *T. castaneum* est capable de passer du mil au maïs. Dans le mil décortiqué et la farine de mil, le sex-ratio est en faveur des mâles quelque soit la provenance de

T. castaneum avec un pourcentage de mâle plus important chez les *T. castaneum* provenant du maïs. Le sex-ratio est en faveur des mâles dans le mil brisé quel que soit l'origine de *T. castaneum* avec un nombre de mâle plus important pour *T. castaneum* provenant du

mil. Ici, on aura probablement une compétition entre les mâles sur les femelles disponibles. Aussi, cela nous permet-il de dire que le sex-ratio est toujours en faveur des mâles quel que soit la provenance de *T. castaneum* ?

CONCLUSION

Au terme de cette étude, nous pouvons confirmer que *T. castaneum* est un ravageur primaire du mil. En plus, l'état du mil influe sur le développement de *T. castaneum* provenant du mil et que ce dernier est donc capable de se développer sur tous les états du mil (entier, décortiqué, brisé et farine). Le mil semble résistant aux attaques de *T. castaneum* provenant du mil ou du maïs quand il est décortiqué ou transformé en farine. Ainsi, pour limiter l'infestation de *T. castaneum*

sur la farine de mil on peut le garder sur le même lieu de stockage que le maïs. Mais compte tenu des pertes quantitatives causées par l'insecte, perte pouvant s'amplifier sur une longue période et de l'ampleur des dégâts qualitatifs, il faut considérer *T. castaneum* comme un insecte véritablement nuisible qui doit faire l'objet d'une lutte rationnelle pour protéger les grains lors du stockage et de la conservation.

REMERCIEMENTS

Cette publication a été produite avec le soutien financier du projet FIRST (Fonds d'impulsion de la Recherche Scientifique et Technique) du Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche du

Sénégal. Nous remercions tous les techniciens du labo CBGP IRD Bel-Air pour l'aide reçue lors des expérimentations.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Afrique vert et INRAN 2007. Règlement et normes des produits transformés à base des céréales. 15 pp.
- Bekon K et Fleurat Lessard F 1989. Évaluation des pertes en matière sèche des grains dus à un ravageur secondaire : *Tribolium castaneum* (Herbst), coléoptère ténébrionidae, lors de la conservation des céréales. John Libbey Eurotext Paris 97-104.
- Bonneton F 2010. Quand *Tribolium* complémente la génétique de la drosophile. *Medecine/Sciences* 26 : 297-303.
- Bounechada M et Arab R 2011. Effet insecticide des plantes *Melia azedarach* L. et *Peganum harmala* L. sur *Tribolium castaneum* Herbst (Coleoptera:Tenebrionidae). 6pp.
- Camara A 2009. Lutte contre *Sitophilus orizea* L. (Coléoptères curculionidae) et *Tribolium castaneum* Herbst (coléoptère ténébrionidae) dans les stocks de riz par la technique d'élevage traditionnelle pratiquée en Basse Guinée et utilisation des huiles essentielles végétales. Thèse d'obtention du titre de Docteur en Science de l'environnement, Université du Québec à Montréal. 173 pages.
- CILSS 1998. Rapport sur l'évaluation préliminaire de la production céréalière en Afrique de l'Ouest. 9pp.
- Daan S et Tinbergen JM 1997. Adaptation of life histories. 311-333 in Krebs J.R. et Davies N.B. (éds.), *Behavioural ecology. An evolutionary approach*. 4e Ed. Blackwell Science, Oxford.
- Delobel A et Tran M (1993). Les coléoptères des denrées alimentaires entreposées dans les régions chaudes. Edition CTA et ORSTROM. 424pp.
- Diome T, Thiaw C, Guèye AC, Ndong A, Sarr M, Cissé N, Sembène M, 2014. L'effet de la structuration génétique sur la durée du cycle de développement de *Tribolium castaneum* Herbst (Coleoptera : Tenebrionidae). *In press*.
- Goergen G, Fandoham P, Hell K, Lamboni Y, 2005. Petit manuel d'identification des principaux ravageurs des denrées stockées en Afrique de l'Ouest. IITA Cotonou / Bénin. 25pp.
- Guèye AC, Diome T, Thiaw C, Ndong A, Guèye A, Sembène M, 2012. Capacity of biodemographic development of *Tribolium castaneum* Herbst (Coleoptera, tenebrionidae) and *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera, Curculionidae) in stored cereals in Senegal.

- South Asian Journal of Experimental Biology 2 (3): 108-117.
- Info conseil et Paoa 2006. État des lieux de la filière céréales locales au Sénégal, Dakar, Sénégal, Gret, Enda graf, SNC Lavalin, Cintech, MAE, CDE, ACDI, MIA, 54pp.
- Kafka F 2009. The Beetle book. Edition Gregor Brucher. 34pp.
- Kouassi B 1991. Influence de quelques facteurs externes sur le cycle de développement et la survie de *Sitophilus oryzae* L. (Coléoptères curculionidae). Thèse d'obtention du titre de Docteur en Sciences Naturelles, Université nationale de Côte d'Ivoire, 92pages.
- Ministère de l'Agriculture et de l'Élevage 2001. La culture et la production du mil et du sorgho au Sénégal : Bilan-diagnostic et perspectives 130pp.
- Mbengue HM 1985. La transformation des céréales au Sénégal : Étude sur la mécanisation des récoltes et des traitements subséquents des produits agricoles en Afrique tropicale et fabrication des matériels et des équipements correspondants. Bambey-Sénégal 13pp.
- Roorda FA 1982. Laboratory observations on the development of *Tribolium castaneum* HERBST. (Col., Tenebrionidae) on millet at different temperature and relative humidities. Zeitschrift für angewandte Entomologie 93: 446-452.
- Seck D 1983. Étude d'un ravageur des céréales, *Sitotroga cerealella* OLIV. (Lep. Gelechiidae) en milieu paysan au Sénégal. Mémoire de fin d'études, Faculté Sciences Agronomique, Gembloux (Belgique), 123pages.
- Seck D, Sidibé B, Fall A, 1992. Observation sur le développement de *Tribolium castaneum* Herbst sur le mil (*Pennisetum typhoide* L.), en fonction du taux de brisure dans le substrat. Soc. r. belge Ent 35. 471-475.
- Sembène M, Delobel A 2004. Mythe ou réalité ? Le « principe de Hopkins » dans le cas de la Bruche de l'arachide *Caryedon serratus* (Coleoptera, Bruchidae). Bulletin de la société entomologique de France, 109 (1) : 61-66.
- Sembène M, Thiaw C, Doumma A, Sanon A, Ketch GK, Delobel A 2012. Préférence de ponte et niveau d'adaptation de différentes souches de *Caryedon serratus* Ol. (Coleoptera, Bruchidae) à l'arachide (*Arachis hypogaea* L., Fabaceae). Annales de la Société Entomologique de France (n. s), 48 (1-2) : xxx-xxx.
- Stearns SC 1992. The evolution of life histories. Oxford University Press, New York. 249pp.
- Vanier P 2005. Le millet au fil du temps, Usages culinaires, Conservation, Jardinage biologique, Écologie et environnement. 10p.

Annexe XXIII : PUBLICATION III



Journal of Agricultural Research (ISRA- CNRA); Box: 53 Senegal.

Corresponding author: Toffène DIOME, e-mail: eltot@yahoo.fr

Biodemographic and live cycle development comparison of three genetic populations of *Tribolium castaneum* Herbst (Coleoptera, Tenebrionidae).

Toffène Diome ^{1,3}, Cheikh Thlaw ², Amy Collé Guèye ^{1,3}, Assane Ndong ^{1,3}, Malick Sarr ³, Mbaye Diop ², Mbacké Sembène ^{1,3}

1. Centre de Biologie pour la Gestion des Populations (CBGP); Institut de Recherche pour le développement (IRD) Bel-Air Sénégal

2. "Senegalese Institute of Agricultural Research/National Center of Agronomics Research (ISRA- CNRA); Box: 53 Senegal.

3. Département de Biologie Animale, Faculté des Sciences et Techniques, Université C.A. Diop, B.P. 5005 Dakar, Sénégal

Corresponding author: Toffène DIOME, e-mail: eltot@yahoo.fr

Original submitted in on 11th September 2014. Published online at www.m.elewa.org on 30th September 2015
<http://dx.doi.org/10.4314/jab.v93i1.6>

ABSTRACT

Tribolium castaneum is a cosmopolitan parasite of dry agricultural products. It is harmful and must be the subject of a rational struggle to protect grains during the storage and preservation.

Objective: The objective of this study is to evaluate cycles of development of the populations-genetically differentiated.

Methodology and results: Grains of millet were placed in eight Petri dishes and infested by three (3) couples of *T. castaneum* aged between three to ten days for 24 hours. A follow up of the eggs from the laying up to the emergence of the adults was done in order to determine the duration of the different stages. The results showed that the *T. castaneum* cycle of development differ between those non-differentiated ones. The average life development of the F1 of *T. castaneum* is 28.32 ± 1.70 days in Djilas, 32.30 ± 3.69 days in Karang and 31.07 ± 2.23 days in Diaroume. The average life development of the F2 of *T. castaneum* in Djilas is 29.30 ± 2.71 day's 35.58 ± 5.24 days in Karang and 33.36 ± 4.21 days in Diaroume. Between populations genetically differentiated (Djilas and Karang on the one hand and between Djilas and Diaroume on the other hand) the gap of the cycle of development is significant. On the other, between Karang and Diaroume, two populations genetically no differentiated, the difference (gap) of the cycle of development is not significant. The sex ratio is in favour of females in the three localities and in the two generations.

Conclusion and application of results: The producers should not mix their own grain to those from markets or other localities to avoid increasing the genetic diversity or introduce short-cycle populations in their storage areas. Indeed, populations of *T. castaneum* from Karang and Diaroume are genetically identical and have the same development cycle. The cycle of the population of *T. castaneum* of Djilas (less than 30 days) is shorter than the other two populations of Karang and Diaroume (over 30 days).

Key words: *Tribolium castaneum*, genetic differentiation, cycle of development.

8727

INTRODUCTION

Insects can cause devastating losses by reducing the quality and the quantity of stocked products (Bounechada, 2011). In Sénégal, the specimens encountered in the stocks of fonio, maize and millet belong to eight genus following the order of the Coleoptera beetle (Sitophilus, Prosthephanus, Tribolium, Rhyzopertha, Cryptolestes, Trogoderma, Oryzaephilus, Carpophilus) dispatched into six families (Curculionidae, Cucujidae, Bostrichidae, dermestidae, Nitidulidae and Tenebrionidae) (Ndao, 2011). *Tribolium castaneum* is one of the most common devastating tropical beetles of stocked products and main devastator of the cereal (Cotton, 1963 in Prabha Kumari, 2011). Because of its adaptability, *T. castaneum* ranks among the ones to be ostracized all the European countries at all costs (Erwin *et al.*, 1993). Karunakaran *et al.* (2004) reported that the infestation caused by *T. castaneum* in stock and non-protected wheat reduces almost completely the germination from 9 per cent to 39 per cent after nine months of stocking in Canada and the grains present some damaged nucleus. The grain then emits a foul smelling secretion, which makes the products unsuitable for consumption. The adults and larvae live on the grain and flow. In case of infestation active larvae disappear into the grain and eat there remsted from the light (Mason, 2003). They produce lumpy excrement that is similar to dust. Several parameters may have an effect upon the fertility or about the duration of development for *T. castaneum*. According to Guèye *et al.* (2012), the

cycle of development of *T. castaneum* carry out their larval development in the maize. Different concentrations (1; 0.5 and 0.25) from millet extract have a significant effect in the fertility of *T. castaneum* but do not bring about a difference upon the duration of larval or nymphal development (Ahmed *et al.*, 2009). Temperature acts also upon the duration of the cycle of development of the insect. Indeed, according to Kafka (2009), a temperature of 32°C accelerate the duration of the embryonic development (three days) of *T. castaneum*, 25°C slows down the embryonic development (seven days) and for a temperature of 23°C and 18°C, the embryos do not develop. According to the same author, at a temperature of 23°C and 18°C, the hatched larvae do not develop too; the adults survive but need higher temperature during a week in order to produce a normal offspring again. The effect of other parameters such as genetic structuring about the cycle of development of *T. castaneum* has not been shown. After a study about the genetic characterization, it demonstrated a significant genetic differentiation between three populations of *T. castaneum* from Djilas, Karang and Diaroume (Diome *et al.*, 2013). The study raises the question as to whether this genetic differentiation has a physiological base. We are trying to determine the different stages of the cycle of development of these three populations so that to compare them.

MATERIAL AND METHODS

Grain of millet as selected samples: To carry out these experiences, grains of millet were taken from the shops of Djilas (14°14'N, 16°38'W) from Karang (13°35'N, 16°42'W) and Diaroume (12°59'N, 15°37'W). The choice of these localities can be explained by their demonstrated genetic differentiation. The grains from these localities were selected from some producers' shops. One part was kept in a freezer for 15 days to sterilize them and the other part was put into jars for a breeding ground.

***Tribolium castaneum* breeding:** Couples were chosen among the first adults emerging from the jars in order obtain second generation which corresponds to F1 of the experimentation, the laboratory temperature ranged from 25 to 31°C and humidity from 41 to 68%.

Experimental study of the cycle of development of *T. castaneum*: The experiment was performed on millet. There were eight tins numbered from one to eight for each population and corresponding eight repetitions. Ten grammes of grains was infested by three couples of *T. castaneum* aged between three

days to ten days, to ensure that the laying has really started (females of *T. castaneum* start their laying at the age of three days (Camara, 2009). Three couples of *T. castaneum* (table 1) infested each tin Petri dish. The date of infestation, which corresponds, to the first day of the experimentation is recorded.

Statistic analysis: The excel spreadsheet was used to processes the data of the different determined parameters: the duration egg-larvae, egg-pupa, egg-adult and the sex-ratio.

Egg-larvae duration: this is the time between the emission of an egg on a seed and the appearance of larvae from it.

Egg-nymph duration: this is the time between the emission of an egg on a seed and the formation of a nymph from it.

Egg-adult duration: this is the time between an egg on a seed and the emergence of the adult from it.

RESULTS

Average duration of embryonic development of the first F1 and of the second generation (F2) of *Tribolium castaneum*. : The average duration of embryonic development of the F1 of *T. castaneum* in the store of Djilas is of 4.86 ± 0.79 days; 4.54 ± 0.66 days in the store of Karang and 5.33 ± 0.89 days in the store of Diaroume. The standard deviations were inferior to 1 for the three localities concerned. This shows that the distribution of the data is stable in each of the localities. This average duration (life) for the F2 of *T. castaneum* in the store of Djilas is of 5.20 ± 0.85 days; 4.26 ± 0.68 days in the store of Karang and 4.46 ± 0.94 days in the store of Diaroume. The standards deviation of the data is stable in each of the populations (table 2). The comparison of the average durations of embryonic development of the F1 of *T. castaneum* from the localities of Djilas and Karang reveal a value of $P=0.09 > 0.05$. The difference between the average duration of the embryonic development of the populations of *T. castaneum* stemming from the localities of Djilas and Karang is not significant at the threshold of risk $\alpha=0.05$. Between the *T. castaneum* populations of Diaroume and of Karang, there is a value of $P=0.0000115 < 0.05$. The difference

The sex-ratio: It gives the percentage of females compared to all the descendants. If the sex-ratio is superior to 50% then it is in favour of females in the opposite case it takes advantage to males.

The differences of average between the different populations taken by couple were compared by the smallest significant difference about the threshold of 5% (test Fisher). Fisher starts therefore with the formulation of a hypothesis H_0 , according to which the statistic (the average for example) of a random sample, draw from a boundless hypothetic population, is equal to a given value (Bourque *et al.*, 2009). Then, we test the difference between the parameter of the distribution of theoretical selection of sample and the statistic observed in the sample. When the compared values differ from more than one gap in advance the hypothesis is rejected (Blais, 1991).

between the duration of embryonic development between the localities of Diaroume and of Karang is significant in F1 at the threshold of risk $\alpha=0.05$. The average duration of embryonic development of the population of *T. castaneum* coming from Djilas and Diaroume in F1 reveals a value of $P=0.048 < 0.05$, the difference between of the average duration of larvae development of the localities of Djilas and Diaroume is significant in F1 at the threshold of risk $\alpha=0.05$. The comparison between the average duration of embryonic development of the localities of Djilas and Diaroume in F2 reveal a value of $P=0.00039$, the difference is significant between these two populations in F2 at the threshold of risk $\alpha=0.05$. Between the average durations of embryonic development of the populations of *T. castaneum* stemming from the localities of Karang and Diaroume, we have a value of $P=0.000015 < 0.05$. The difference between the duration of embryonic development of *T. castaneum* stemming from stores of Karang and Diaroume, we have a value of $P=0.283$. The difference between the duration of embryonic development of the populations of *T. castaneum* of Karang and Diaroume is not significant at the threshold of risk $\alpha=0.05$ (table 3).



Table 1: Methodology of infestation of boxes by the species *T. castaneum*.

Species	From	Generation	Number of couples	Number of repetitions
<i>T. castaneum</i>	Djilas	F1	3	8
	Karang		3	8
	Diaroumé		3	8
	Djilas	F2	3	8
	Karang		3	8
	Diaroumé		3	8

Table 2: Average Duration of embryonic development of the F1 and F2 of *T. castaneum* in the three Communities

	Djilas	Karang	Diaroumé
	F1		
Average Duration (in days)	4,86	4,54	5,33
Standard deviation	0,79	0,66	0,89
	F2		
Average Duration (in days)	5,20	4,26	4,46
Standard deviation	0,85	0,68	0,94

Average duration egg-nymph of the two generations F1 and F2 of *T. castaneum*; The average duration of egg-nymph development of *T. castaneum* in the store of Djilas is 22.58 ± 1.92 days, 27.24 ± 3.41 days in the store of Karang and 26.49 ± 2.43 days in the store of Diaroume. The standard deviations are superior to 1 for the three populations which shows that the distribution of data is unsettled in each of the populations of *T. castaneum* stemming from stores of these localities. The average duration of egg-nymph development of the F2 of *T. castaneum* in the store of Djilas is 24.48 ± 2.67 days, 27.48 ± 3.64 days in the store of Karang and 28.47 ± 5.16 days in the store of Diaroume. The standard deviations are superior to one for the three localities; the data's distribution is then unsettled in each of the store of these localities (table 4) The comparison of the average durations of development of the F1 between the populations of *T. castaneum* stemming from Djilas and Karang from the laying to the appearance of nymphs reveals a probability value $P=5.90 \cdot 10^{-6} < 0.05$. The difference between the average durations egg-nymph of *T. castaneum* of Djilas and Karand is significant at the threshold of risk $\alpha=0.05$. It has been the same for the average duration of the development of the F1 between the populations of *T. castaneum* stemming from Djilas and Diaroume from the laying to the appearance of nymphs which reveals a probability value $P=3.48 \cdot 10^{-6} < 0.05$. The difference between the average durations egg-nymph of *T.*

castaneum coming from the stores of the localities of Djilas and Diaroume is significant at the threshold of risk $\alpha=0.05$. In return, the comparison of the average durations of development between the populations of the F1 of *T. castaneum* from Karang and Diaroume from the laying to the appearance of nymphs reveals a probability value $P=0.294 > 0.05$. The difference between the average duration egg-nymph of the stores of the localities of Diaroume and Karang is not significant at the threshold of risk $\alpha=0.05$. Between the average durations of development from the laying to the appearance of the nymph of the second generation (F2) of the populations of *T. castaneum* stemming from Djilas and Karang, we have a probability value of $P=0.000971 < 0.05$. The difference between the average duration egg-nymph of *T. castaneum* from the stores of these localities is significant at the threshold of risk of $\alpha=0.05$. The comparison of the average durations of development of the populations of *T. castaneum* stemming from Djilas and Diaroume from the laying to the appearance of nymph reveals a probability value $P=0.000152 < 0.05$. The difference between the average durations egg-nymph of the populations of *T. castaneum* from the stores of the localities such as Djilas and Diaroume is significant at the threshold of risk $\alpha=0.05$. It reveals also a probability value $P=0.346 > 0.05$ between the average durations of development of the egg until the appearance of the nymphs of the populations of *T.*

castaneum from stores of Karang and Diaroume. The difference between the average durations egg-nymph of *T. castaneum* between the stores of the localities of

Diaroume and Karang is not significant at the threshold of risk $\alpha=0.05$ (table 5).

Table 3: Comparison of average durations of embryonic development of the F1 and F2 of *T. castaneum*

Shops	Djilas	Karang
F1		
Diaroume	P=0.048	P=0.000015
Karang	P=0.09	
F2		
Diaroume	P=0.00039	P=0.283
Karang	P=0.0000115	

Table 4: Average durations egg-pupa of the F1 and F2 of *T. castaneum*

	Djilas	Karang	Diaroume
F1			
Average Duration (in days)	22.58	27.24	26.49
Standard deviation	1.92	3.41	2.43
F2			
Average Duration (in days)	24.48	27.47	28.47
Standard deviation	2.67	3.64	5.16

Table 5: Comparison of durations egg-pupa of the F1 and F2 of *T. castaneum*

Shops	Djilas	Karang
F1		
Diaroume	P=3.48 E-06	P= 0,294
Karang	P=5.90 E-08	
F2		
Diaroume	P=0.000152	P=0.348
Karang	P=0.000971	

Average durations egg-adult of the F1 and F2 of *T. castaneum*: The average duration of development of *T. castaneum* in the stores of Djilas is 28.32 ± 1.70 days, 32.8 ± 3.69 days in that of Karang and 31.07 ± 2.23 days in the store of Diaroume. The standard deviations are superior to one as for as the three localities are concerned, which shows that the data distribution is unsettled in each store of these three localities. The average duration of development of the F2 of *T. castaneum* in the store of Djilas is 29.30 ± 2.71 days, 35.58 ± 5.24 days in that of Karang and 33.36 ± 4.21 days in the store of Diaroume. The standard deviations are superior to one for these three localities; the data distribution is unsettled in each store in each store of these three localities (table 6). The comparison of the average durations of development of the F1 of *T. castaneum* from Djilas and Karang shows a probability value $P=1.22 \cdot 10^{-5} < 0.05$, the difference between the cycles of development of *T. castaneum* stemming from

the stores of the localities such as Djilas and Karang at the threshold of risk $\alpha 0.05$. The comparison of the average durations of development of the F1 of the *T. castaneum* populations stemming from Djilas and Diaroume from the laying to the appearance of the adults reveals a probability value $P=1.42 \cdot 10^{-5} < 0.05$. The difference between the average durations egg-adult of the *T. castaneum* populations stemming from the stores of these two localities is significant at the threshold of risk $\alpha=0.05$. It shows also that between the average durations of development from the laying to the appearance of the adult of *T. castaneum* coming from the stores of the localities of Diaroume and Karang is not significant $P=0.019 > 0.05$ at the threshold $\alpha=0.05$. The comparison of average durations of development of the F2 of *T. castaneum* populations stemming from Djilas and Karang shows a probability value $P=5.499 \cdot 10^{-5} < 0.05$. The difference between the cycles of development of *T. castaneum* from the stores

of the localities of Djilas and Karang is significant at the threshold of risk $\alpha=0.05$. It shows also for the F2 a probability value $P=0.00023<0.05$ between the *T. castaneum* populations from Djilas and Diaroume which shows that the difference is significant between these populations at the threshold of risk $\alpha=0.05$. The comparison of the average durations of development of

the F2 of *T. castaneum* from the laying to the appearance of adults between Diaroume and Karang reveals a probability value $P=0.084>0.05$. The difference between the average duration of egg-adult of the stores of localities of Diaroume and Karang is not significant at the threshold of risk $\alpha=0.05$ (table 7).

Table 6: Average durations egg-adult of the F1 of *T. castaneum*.

Shops	Djilas	Karang	Diaroume
F1			
Average Duration (in days)	28.32	32.8	31.07
Standard deviation	1.70	3.69	2.23
F2			
Average Duration (in days)	29.30	35.58	33.36
Standard deviation	2.71	5.24	4.21

Table 7: Comparison of durations of egg-adult of the F1 and F2 of *T. castaneum* populations.

Shops	Djilas	Karang
F1		
Diaroume	$P=1.4229 \text{ E-}05$	$P=0.019$
Karang	$P=1.221 \text{ E-}05$	
F2		
Diaroume	$P=0.00023$	$P=0.346$
Karang	$P=5.499 \text{ E-}8$	

Differentiation between the three populations of *T. castaneum* of Djilas, Karang and Diaroume: The strongest values of the F_{st} have been obtained between the populations of *T. castaneum* of Djilas and

Diaroume (0.57143). These values are also significant. On the other hand, between Karang and Diaroume the genetic differentiation is negative and not significant (table 8).

Table 8: Genetic differentiation between the three populations of *T. castaneum*

	Djilas	Karang
Karang	0.46296 *	
Diaroume	0.57143 *	-0, 07280

The sex ratio of the F1 of *T. castaneum* according to the differentiated populations: The sex ratio of the F1 is in favour of females in the three populations. The females represent 63.15% of the emerged adults from the population of *T. castaneum* of Djilas, 64.28% of the adults of Karang and 56% of that of the adults of Diaroume. The number of females emerged is superior to the number of males regarding the three populations of the F2 as well. The females represent 59.27% of the adults emerged from the population of *T. castaneum* of Djilas, 68.68% of the adults from that of Karang and 59.42% of the adult from that of Diaroume. The number

of emerged females is superior to the number of males in the three populations (table 9).

The mortality rate regarding the two generations F1 and F2 : It results that the larval mortality of the F1 is more important in the population of *T. castaneum* coming from Diaroume (28.57%) it is weak in the population of Karang (8.51%) and Djilas (9.52%). On the other hand, regarding the F2, the larval mortality is weak in the population of *T. castaneum* of Diaroume (5%) just as in the populations of Djilas 10% and Karang (12%). The nymph mortality is non-existent in Djilas and in Diaroume in the two generations. On the

other hand, for Karang, we have a death rate of 2.3% in the F1 and 12% in the F2 (table 10).

Table 9: Emergence of adults and sex-ratio (R) of two generations F1 and F2 of *T. castaneum* in all three populations.

Populations	Number adult	Male	Female	% Female	Sex-ratio
F1					
Djilas	19	7	12	63.15	0.58
Karang	42	14	27	64.28	0.51
Diaroume	25	11	14	56	0.78
F2					
Djilas	27	10	16	59.27	0.62
Karang	24	8	16	66.66	0.5
Diaroume	69	28	41	59.42	0.68

Table 10: Percentage of larval mortality and indicating

Populations	N. larvae	N. nymphs	M. larvae	N. adults	M. Nymphs
F1					
Djilas	21	19	9.52 %	19	0
Karang	47	43	8.51 %	42	2.3 %
Diaroume	35	25	28.57 %	25	0
F2					
Djilas	30	27	10%	27	0
Karang	32	28	12.5 %	24	12%
Diaroume	73	69	5%	69	0

N.: Number, M.: Mortality

DISCUSSION

This study has demonstrated that the populations of *T. castaneum* from Djilas, Karang and Diaroume are different genetically. The bio-ecology results have shown that both the first generation F1 and the second generation F2, have a significant difference for the durations of embryonic development between the populations of *T. castaneum* from Djilas (4.86 days) and Diaroume (5.33 days) are concerned. According to Bonneton (2010), the embryogenesis of *T. castaneum* last three days at 30°C. This duration is inferior to what this study obtained in the populations from the localities of Djilas and Diaroume. Indeed, the temperature was not steady during the testing, which might accentuate the difference mentioned. However, we can think that the duration of embryonic development can differ significantly between the populations of *T. castaneum* genetically differentiated. Diome et al. (2013) have shown that the genetic differentiation is more accentuated between the populations of *T. castaneum*

from Djilas and Diaroume. This differentiation could have then an impact on the duration of embryonic development of the insect. For the average duration egg-nymph, the study had a significant difference between the populations from Djilas and Karang on the one hand and between Djilas and Diaroume on the other hand, for the two generations F1 and F2 between Karang and Diaroume the difference is not significant. Indeed the genetic differentiation is not significant between the populations of *T. castaneum* of these last two localities. We can therefore think that the more there is a genetic differentiation, the more there is a difference in the duration of the cycle of development. The results obtained with the duration egg-nymph are confirmed by the results obtained on the cycle of development of these different populations. The cycle of development of the *T. castaneum* populations of Djilas is shorter and does not exceed thirty days for each of the two generations (F1 and F2). This shows

that we can have several generations in this population during the years if the conditions are comfortable in a crucial period of the year. We can meet five generations in a year (Bennett, 2003). According to the Canadian commission of the grains (CCG), the red *Tribolium* of the flour is among the insects, which infest the stored foodstuff, one of those, which the populations increase the most rapidly. The duration of the cycle of development has slightly increased within each locality from one generation to another, which could be due to a variation of certain climatic parameters during the testing like the temperature and the humidity relative. The temperature and the relative humidity of the air, the type of food (Guèye *et al.*, 2012) the rate of breakage (Seck *et al.*, 1992) have an impact on the duration of the cycle of development of *T. castaneum*. The development of *T. castaneum* stops in below of 22°C but it resists very well to the low of hygrometry's (Camara, 2009). The cycle of development is longer in the population of Diaroume 32.8±3.69 days in F1 and 35.58±5.24 days in F2. According to ISS Suisse, while all the factors are almost optimal, the duration of a generation can be from 27 to 35 days. The cycle in F2 of the *T. castaneum* population of Diaroume is near at hand to that found by Guèye *et al.* (2012) on the *T. castaneum* populations erected upon maize (36.3±1.42 days). The shortest cycle is noted in Djilas and its duration is close to that found by Guèye *et al.* (2012) and distant to that found by Delobel and Tran (1993) who have found an average duration of development from egg to adult on the millet of 26 days at 28% for an HR of 70%. This shows that the cycle of development of *T. castaneum* can differ between subservient in a same cereal and

that the genetic differentiation would play a very important role. In the three populations, the average duration of the cycle of development does not exceed 36 days as well for the first and for the second generation. Some are comparable at the average duration 35 days obtained by Seck *et al.* (1992) on the *T. castaneum* populations erected in the grains of millet at 0% of breakage. This could be explained by the capacity of the insect to be able to attack the intact grains. Indeed, it has been for a long time ranked among the secondary devastators but the Canadian commission of the grain (CCG) has ranked it now among the primary devastators. Between genetically non-differentiated populations (like that of Karang and Diaroume), it was noted that a significant difference in their development duration from the bud until the emergence of adults. The non-differentiated populations are located in two different agro-ecological areas, which show that the populations located in different agro-ecological areas can present a genetically homogeneous population genetically (Diome *et al.*, 2012) and the same cycle of development. However, the differentiated populations would present a different duration of the cycle of development. The study noted that, the number of females is higher comparing to that of males in the 3 localities and in the two generations (percentage of females superior to 50 per cent). It can be concluded that the females prevail and tend to have a paramount role in the infestation of stocked grains in the different stores of the localities; this could accentuate the infestation in the stocking spots. The larval death rate of *T. castaneum* being equal to 8.51 percent in Karang, 9.52 percent in Djilas and 28.57 percent in Diaroume.

ACKNOWLEDGEMENT

The World Bank program of "West Africa Agricultural Productivity Program" (WAAPP) National Centers of

Excellence and The "Observatoire Homme-Milieu" OHM Tessékéré funded this work.

REFERENCES

- Ahmed S, Zainab A, Nisar S. and Rana N: 2009. Effect of new formulations of neem products on biology of *Tribolium castaneum* (herbst) (Tenebrionidae: Coleoptera). Pak. Entomol. 2: 133-137.
- Arbogast RT: 1991. Beetle: Coleoptera In Ecology and Management of Food-Industry Pests (Edited by Gorham J.R.). Association of Official Analytical Chemicals, Arlington, Virginia. 131-176.
- Bennett SM: 2003. *Tribolium confusum* (Confused Flour Beetle) and *Tribolium castaneum* (Rust Red Flour Beetle). 3p.
- Bonnetone F: 2010. Quand *Tribolium* complémente la génétique de la drosophile. Medecine/Sciences 26 : 297-303.
- Bounechada M and Arab R : 2011. Effet insecticide des plantes *Melia azedarach* L. et *Peganum harmala* L. sur *T. castaneum* Herbst

- (Coleoptera: Tenebrionidae). Agronomie numéro 1. 6p.
- Camara A : 2009. Lutte contre *Sitophilus oryzae* L. (Coléoptères curculionidae) et *Tribolium castaneum* Herbst (Coléoptère Ténébrionidae) dans les stocks de riz par la technique d'élevage traditionnelle pratiquée en Basse Guinée et utilisation des huiles essentielles végétales. Thèse d'obtention du titre de Docteur en Science de l'environnement, Université du Québec à Montréal. 173p.
- Delobel A. and Tran M : 1993. Les coléoptères des denrées alimentaires entreposées dans les régions chaudes. CTA et ORSTROM 424p.
- Diome T, Thiaw C, Ndong A, Sarr M, Kane M. and Sembène M: 2012. Haplotype diversity of *Tribolium castaneum* H. (Coleoptera, Tenebrionidae) pest of stored millet in Senegal. *Journal of Cell and Animal Biology* 13: 192-199.
- Diome T, Thiaw C, Sarr M, Ndong A, Kane M, Cissé N. and Sembène M: 2011. Genetic diversity of *Tribolium castaneum* (Herbst) population in storage infrastructures and agroecological zones in Senegal. *International Journal of Biosciences* 9: 248-258.
- Erwin J., Thomas B., Roman E. and Roger S: 1993. Insectes ravageurs domestiques. Musée d'histoire naturelle de Fribourg 1-48.
- Guéye AC, Diome T, Thiaw C, Ndong A, Guéye AN et Sembène M: 2012. Capacity of biodemographic development of *Tribolium castaneum* Herbst (Coleoptera, Tenebrionidae) and *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera, Curculionidae) in stored cereals in Senegal. *South Asian Journal of Experimental Biology* 3: 108-117.
- Karunakaran C, Jayas DS, White NDG (2004). Identification of wheat kernels damaged by the red flour beetle using x-ray images. *Biosystems Engineering* 3: 267-274.
- Mason LJ : 2003. Grain Insect Fact Sheet E-224-W: Red and Confused Flour Beetles, *Tribolium castaneum* (Hbst.) and *Tribolium confusum* Duval. Purdue University, Department of Entomology.
- Ndao A : 2011. Diversité, abondance et prévalence des principaux coléoptères ravageurs de stocks de fonio, de maïs et de mil au Sénégal. Mémoire de diplôme de Master II en Biologie Animale, Spécialité: Entomologie, UCAD/FST. 30 p.
- Prabha Kumari C, Sivadasan R. and Jose A: 2011. Microflora associated with the red flour beetle, *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae). *Microbiological Journal in Agriculture and Technology* 6: 1625-1631.
- Seck D, Sidibé B. and Fall A: 1992. Observation sur le développement de *Tribolium castaneum* Herbst sur le mil (*Pennisetum typhoide* L.), en fonction du taux de brisure dans le substrat. *Soc. r. belge Ent.* 35 : 471-475.

Résumé

L'agriculture sénégalaise qui est essentiellement pluviale et saisonnière, est caractérisée par un déficit chronique de la production céréalière. Au Sénégal, le mil est l'un des céréales majeures et occupe parmi les cultures céréalières, la place la plus importante aussi bien du point de vue des surfaces emblavées que de la production. Le maïs est une des vingt denrées les plus importantes pour l'alimentation humaine aussi bien en Amérique, d'où il est originaire qu'en Afrique. En effet, il n'est plus à démontrer que la conservation des récoltes permet d'assurer la disponibilité des ressources alimentaires qui est l'un des facteurs clés de la sécurité alimentaire d'un pays. Mais, ces denrées sont habituellement attaquées par certains Coléoptères (*Sitophilus oryzae*, *Sitophilus zeamais*, *Tribolium castaneum*) pendant leurs stockages entraînant des pertes qualitatives et quantitatives considérables. Afin de connaître l'impact de la variation du substrat (maïs et mil) de ponte sur la capacité de développement de ces insectes nous avons essayé en premier lieu de faire des infestations contrôlées de *Sitophilus zeamais* (Coleoptera, Curculionidae) provenant du maïs d'une part et de *Sitophilus oryzae* (Coleoptera, Curculionidae) issus du mil d'autre part sur les différentes formulations du maïs (entier, décortiqué, brisé et farine), à une humidité relative variant entre 41-67% et à des températures oscillant entre 28,5-31°C et en second lieu, d'évaluer expérimentalement le développement et les dégâts de *Tribolium castaneum* (Coleoptera, Tenebrionidae) issus du mil d'une part et du maïs d'autre part, sur le mil entier, décortiqué, brisé et farine à une humidité relative variant entre 41-80% et à des températures oscillant entre 24,5-31°C. L'étude de l'effet des différents états du maïs sur les capacités de développement de *Sitophilus zeamais* et *Sitophilus oryzae* a montré que globalement la nature du substrat influe sur le développement et le devenir du poids de *Sitophilus zeamais* et de *Sitophilus oryzae*. Aussi ces deux insectes sont des ravageurs primaires du maïs, capables de se développer sur le maïs entier, le maïs décortiqué et le maïs brisé à l'exception de la farine de maïs. Mais, il faut signaler que *Sitophilus oryzae* issu du mil se développe difficilement sur le maïs entier. Ainsi, pour limiter l'infestation de *Sitophilus oryzae* et *Sitophilus zeamais* sur le maïs il faut le stocker après sa transformation en farine. L'étude du développement de *Tribolium castaneum* sur le mil entier d'abord, puis décortiqué, ensuite brisé et en fin transformé en farine a montré que quelle que soit sa provenance (mil ou maïs), *Tribolium castaneum* est capable de se développer sur le mil décortiqué, brisé et sur la farine de mil. Aussi *Tribolium castaneum* issu du maïs pourrait avoir des problèmes d'adaptation dans le mil entier. Ainsi pour limiter l'infestation du mil par *Tribolium castaneum* qui est apparu comme un ravageur primaire du mil, il est préférable de le stocker après décorticage ou après sa transformation en farine. Il ressort de ces études que chaque céréale devrait dans la mesure du possible être spécialement stockée dans des endroits éloignés et il serait nécessaire de veiller au bon état sanitaire de ces céréales avant de les stockées.

SENSITIVITY OF DIFFERENT FORMULATIONS OF CORN (*ZEA MAYS* L.) AND MILLET (*PENNISETUM GLAUCUM* L.) TO INFESTATION BY *SITOPHILUS ORYZAE* (COLEOPTERA, CURCULIONIDAE), *SITOPHILUS ZEAMIS* (COLEOPTERA, CURCULIONIDAE) AND *TRIBOLIUM CASTANEUM* (COLEOPTERA, TENEBRIONIDAE) PEST STORED GRAIN.

Abstract

Senegalese agriculture which is essentially pluvial and seasonal, is characterized by a chronic deficit of the cereal production. In Senegal, millet is one of the major cereal and occupies among cereal crops, the most important place both in terms of sown areas as production. The corn is one of twenty foodstuffs the most important for the human food as well in America, where from it is native that in Africa. Indeed, it is well to demonstrate more that the preservation of the harvests allows to assure the availability of the food resources which is one of the key factors of the food safety of a country. But, these foodstuffs are usually attacked by certain Beetles (*Sitophilus oryzae*, *Sitophilus zeamais*, *Tribolium castaneum*) during their storages entailing considerable qualitative and quantitative losses. To know the impact of the variation of the substratum (corn and millet) egg laying on the capacity of development of these insects, we tried first to do controlled infestations of *Sitophilus zeamais* (Coleoptera, Curculionidae) come from corn the one hand and *Sitophilus oryzae* (Coleoptera, Curculionidae) from millet secondly on the various formulations of corn (whole, hulled, broken and flour) relative humidity ranging from 41-67% and temperatures between 28.5 to 31 ° C and secondly, to experimentally evaluate the development and damage *Tribolium castaneum* (Coleoptera, Tenebrionidae) stemming from millet one hand and corn the other hand, on whole millet, hulled, broken and flour at a relative humidity of between 41-80% and temperatures between 24.5 to 31 ° C. The study of the effect of different states of corn on development capabilities and *Sitophilus oryzae* and *Sitophilus zeamais* showed that overall the nature of the substrate affects the development and fate of the weight of *Sitophilus zeamais* and *Sitophilus oryzae*. Also these two insects are primary pests of corn, able to grow on the whole corn, husked and broken corn, except corn flour. But, it should be noted that *Sitophilus oryzae* from millet is hardly develops on the whole corn. Thus, to contain the infestation of maize weevil and *Sitophilus oryzae* the maïs it must be stored after processing into flour. The study of the development of *Tribolium castaneum* on the whole millet first, then hulled, broken and then processed into flour at the end, showed that, regardless of its origin (millet or corn), *Tribolium castaneum* is able to grow on hulled millet, broken and millet flour. Also *Tribolium castaneum* coming from the corn could have adjustment problems around the millet. Thus to contain the infestation of millet by *Tribolium castaneum* which appeared as a primary pest of millet, it is best stored after the shelling or after processing into flour. It is clear from these studies that each cereal should wherever possible be specially stored in remote locations and it would be necessary to ensure the good health of these cereals before they are stored.

Spécialité : Entomologie

MOTS CLES : *Sitophilus oryzae*, *Sitophilus zeamais*, *Tribolium castaneum*, mil, maïs, pertes, stockage.