

Liste des abréviations, sigles et acronyme

CE : concentré émulsifiable

CS : concentré soluble

CO₂ : dioxyde de carbone

FAO : Food Agriculture Organisation

FIDA : Fonds international de développement agricole

H.R : Humidité relative

H₂O : eau

O₂ : oxygène

O. surinamensis : *oryzaephilus surinamensis*

P. truncatus : *prostephanus truncatus*

PAM : programme alimentaire mondial

PM : poudre mouillable

PP : poudre pour poudrage

S. oryzae : *sitophilus oryzae*

S. zeamais : *sitophilus zeamais*

T. castaneum : *tribolium castaneum*

T. confusum : *tribolium confusum*

Liste des tableaux

Tableau I : Humidités recommandées pour diverse céréales	14
Tableau II : Principaux insectes coléoptères présentent sur les stocks de céréales (Maïs, Mil, Sorgho et Riz) au Sénégal	40
Tableau III : Propriétés physiques et chimiques du bromure de méthyle et de l'hydrogène phosphoré	46
Tableau IV : Insecticides de contacts autorisés pour le traitement des denrées entreposées au Sénégal	48

Liste des figures

Figure 1 : Aspect générale d'un coléoptère vue latérale	3
Figure 2 : carte des principales zones de culture du Sénégal (FAO, 1996)	9
Figure 3 : grenier amélioré en matériaux végétaux (bambou tressé)	10
Figure 4 : Dégâts causés par les insectes sur le maïs et le sorgho (A. WAONGO, 2009).....	16
Figure 5 : vue dorsale d'un Adulte de <i>tribolium castaneum</i>	19
Figure 6 : cycle de développement de <i>tribolium castaneum</i>	21
Figure 7 : Adulte de <i>sitophilus oryzae</i>	23
Figure 8 : les différents états de développement de <i>sitophilus oryzae</i> L (DAVIS S.R.,2011). 24	
Figure 9 : Adult Sitophilus zeamais Motschulsky. (Jörg et al., 2004)	26
Figure 10 : cycle de développement de <i>sitophilus zeamais</i> (Meikle et al., 1999).....	28
Figure 11 : Adulte de <i>Prostephanus truncatus</i>	30
Figure 12 : Différents états de <i>T confusum</i> (Du val.) A : l'œuf (Rebecca <i>et al</i> , 2003) ; B: larve ; C: nymphe ; D: adulte (Walter, 2002).....	33
Figure 13 : Adulte de <i>Rhyzopertha dominica</i> Fabricius, 1792.....	35
Figure 14: Adulte d' <i>oryzaephilus surinamensis</i> avec gros plan sur le pronotum montrant 6 fortes dents sur les côtés avec la 1ère et la dernière plus grandes (micro photos J.P.Marino) 38	

Table de matières

Dédicace.....	I
Remerciement.....	II
Liste des abréviations, sigles et acronyme	IV
Liste des tableaux	V
Liste des figures.....	VI
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE : GÉNÉRALITÉS SUR LES COLEOPTÈRES ET LES CÉRÉALES.....	3
I.1 COLEOPTÈRES.....	3
I.1.1 Définition :	3
I.1.2 Morphologie générale des coléoptères.....	3
I.1.3 Systématique.....	4
I.1.4 Identification d'un coléoptère	4
I.2 Céréales.....	5
I.2.1 Définition	5
I.2.2 Céréales rencontrées au Sénégal	5
I.3 Pertes causées par les coléoptères sur les stocks de céréales au Sénégal.....	16
I.3.1 Pertes quantitatives et qualitatives	16
CHAPITRE II : BIO-ÉCOLOGIE DES COLEOPTÈRES RAVAGEURS DE CÉRÉALES AU SÉNÉGAL : PRINCIPAUX COLEOPTÈRES PRÉSENTS DANS LES STOCKS DE CÉRÉALES	18
II.1 Présentation de l'insecte : <i>Tribolium castaneum</i>	18
II.1.1 Origine et taxonomie	18
II.1.2 Morphologie de l'insecte	19
II.1.3 Bio-écologie.....	19
II.2 Présentation de l'insecte : <i>Sitophilus oryzae</i>	21
II.2.1 Origine et taxonomie	21
II.2.2 Morphologie de l'insecte	22
II.2.3 Bio-écologie.....	23
II.3 Présentation de l'insecte <i>Sitophilus zeamais</i>	25
II.3.1 Origine et taxonomie	25
II.3.2 Morphologie de l'insecte	26

II.3.3 Bio-écologie.....	27
II.4 Présentation de l'insecte : <i>Prostephanus truncatus</i>	28
II.4.1 Origine et taxonomie	28
II.4.2 Morphologie de l'insecte	29
II.4.3 Bio-écologie.....	30
II.5 Présentation de l'insecte <i>tribolium confusum</i>	31
II.5.1 Origine et taxonomie	31
II.5.2 Morphologie de l'insecte	32
II.5.3 Bio-écologie.....	33
II.6 Présentation de l'insecte <i>Rhyzopertha dominica</i>	34
II.6.1 Origine et taxonomie	34
II.6.2 Morphologie de l'insecte	35
II.6.3 Bio-écologie.....	36
II.7 Présentation de l'insecte <i>Oryzaephilus surinamensis</i>	37
II.7.1 Origine et taxonomie	37
II.7.2 Morphologie de l'insecte	38
II.7.3 Bio-écologie.....	38
CHAPITRE III : METHODES DE LUTTE DES COLEOPTERES RAVAGEURS DE STOCKS DE CEREALES AU SENEGAL.....	41
III.1 Méthodes traditionnelles	41
III.1.1 Utilisation des plantes insecticides.....	41
III.1.2 Les huiles essentielles.....	42
III.1.3 Utilisation des matières inertes.....	43
III.2 Méthodes de lutttes modernes	44
III.2.1 Méthodes chimiques.....	44
III.2.2 Méthodes physiques	50
III.2.3 Méthodes biologiques.....	50
Conclusion et perspectives	52
Références bibliographiques	53

INTRODUCTION

Les céréales constituent la source alimentaire la plus importante au monde, à la fois pour l'alimentation humaine et pour la consommation d'élevage. Pour de nombreux pays en voie de développement, les céréales représentent l'essentiel du régime alimentaire des populations rurales généralement à faibles revenus (Gueye et al., 2011) ; Au Sénégal, le mil et le maïs sont les deux céréales majeures. La situation alimentaire est caractérisée au Sénégal et dans le Sahel par l'insuffisance des récoltes à laquelle s'ajoutent des pertes souvent élevées dues en grande partie aux attaques des insectes ravageurs au champ et dans les lieux de stockage. En Afrique subsaharienne, l'action des insectes déprédateurs de céréales et de légumineuses peut anéantir complètement, en quelques mois seulement, des stocks destinés aux vivres et aux semences si aucune protection n'est appliquée (Cissokho et al., 2015). De nos jours, la production de céréale est en voie de régression, en raison de multiples contraintes parmi lesquelles la protection des graines après récolte demeure la plus importante. L'insuffisance d'infrastructures de stockage qui est à l'origine de mauvaises conditions d'entreposage de ces céréales est saisonnière en Afrique subsaharienne, ce qui nécessite impérativement leur mise en stockage pour répondre aux besoins alimentaire de la population. L'Afrique subsaharienne n'a fait que de modestes progrès au cours de ces dernières années et reste la région à plus forte prévalence de sous-alimentation. Le déficit en céréales et légumineuses de la plupart des pays sahéliens est resté chronique ces dernières années. En 2012, les baisses de production céréalière les plus importantes ont été enregistrées en Gambie (56%), au Tchad (49%), au Sénégal (36%), au Niger (31%), en Mauritanie (34%) et au Burkina Faso (20%) (Cissokho et al., 2015). Les céréales représentent plus de 50% de la consommation alimentaire du Sénégal et jouent un rôle énorme en raison de leur forte valeur énergétique. En effet, de nombreux ravageurs sont la cause de ces pertes très importantes et nous nous intéressons ici qu'aux coléoptères. Les coléoptères ravageurs des stocks de céréales constituent un risque plus qu'inquiétant pour la sécurité alimentaire. Le manque de ressources alimentaires est comblé depuis toujours par des importations massives, notamment de céréales. Si, au niveau des céréales sèches, la dépendance extérieure est faible, il en est autrement pour le riz et le blé pour lesquels la moyenne annuelle d'importation est de l'ordre de 600 000 tonnes pour une enveloppe estimée à 110 milliards de francs CFA (Fall et al., 2008 ; cité par (Gueye et al., 2011)). De ce fait, pour faire face à ces coléoptères ravageurs, plusieurs méthodes de lutte ont été mises en œuvre pour protéger les céréales lors de l'entreposage.

Ce document s'articule en trois chapitres : le premier sera consacré aux généralités sur les coléoptères et les céréales, qui présentera d'abord la structure générale des coléoptères et leur classification ; ensuite décrira les céréales rencontrés au Sénégal, méthodes de stockages ; facteurs de dégradation et les pertes causés par les coléoptères ravageurs. Le deuxième chapitre est destiné à la bio-écologie des principaux coléoptères ravageurs présentent dans les stocks de céréales ; d'abord présentation, origine, taxonomie, morphologie puis bio-écologie. Le troisième chapitre est destiné aux méthodes de lutte de ces coléoptères ravageurs de stocks de céréales : méthodes traditionnelles, méthodes chimiques, méthodes physiques et biologiques. Enfin, la conclusion.

CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE : GENERALITES SUR LES COLEOPTERES ET LES CEREALES

I.1 COLEOPTERES

I.1.1 Définition :

Les coléoptères constituent un groupe d'animaux Arthropodes, connu depuis l'Antiquité la plus reculée et constituant dans la classe des insectes un ordre très important. Les Coléoptères constituent l'ordre d'insectes le plus riche en espèces on estime actuellement leur nombre à environ 350 000, C'est parmi les Coléoptères que l'on rencontre la plus grande variété d'insectes des produits emmagasinés(Delobel and Tran, 1993).

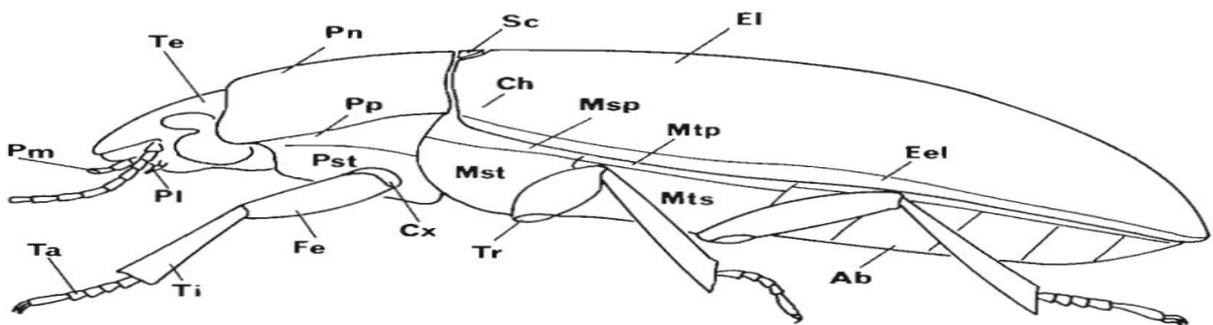
I.1.2 Morphologie générale des coléoptères

Le corps des coléoptères est constitué de trois parties bien distinctes comme la plupart des insectes : la tête, le thorax et l'abdomen.

La tête, qui porte les principaux organes de sensation ;

Le thorax, qui sert d'attache aux organes de la locomotion ;

L'abdomen, qui est le siège des organes de la génération et, en grand partie de ceux de la respiration.



Ab, abdomen ; Ch, callus huméral ; Cx, coxa ; Eel, épipleure élytral ; El, élytre ; Fe, fémur ; Msp, mésopleure (constitué en avant par l'épisternite mésothoracique et en arrière par l'épimère mésothoracique: voir fig. 4) ; Mst, mésosternum ; Mtp, métapleure (seul l'épisternite est visible) ; Mts, métasternum ; Pl, palpe labial ; Pm, palpe maxillaire ; Pn, pronotum ; Pp, propleure ; Pst, prosternum ; Sc, scutellum ; Ta, tarse ; Te, tête ; Ti, tibia ; Tr, trochanter.

Figure 1 : Aspect générale d'un coléoptère vue latérale

Source : (Delobel and Tran, 1993).

I.1.3 Systématique

L'ordre des coléoptères (Coleoptera) rassemble le plus grand nombre d'espèce (plus de 300 000). Dans la classe des insectes beaucoup d'espèce ou des groupes d'espèces ont des noms vernaculaires bien connus de tous, scarabées, coccinelles, lucanes, chrysomèles, hannetons, charançons, carabes(Mamdouh, n.d.).Ce sont des insectes holométaboles à métamorphose complète, c'est-à-dire passent par les stades de larve et de nymphe, et les pièces buccales sont presque toujours de type broyeur.

L'ordre des coléoptères groupe un nombre d'espèces immense (plus de 300 000) et ces espèces sont dispersées dans des superfamilles, familles et sous-familles.

D'après Mamdouh, 2014, les coléoptères vivent quasiment dans tous les biotopes, hormis les milieux polaires et océaniques.la biologie des espèces est très diverse, c'est pourquoi une présentation claire et simples de cet ordre est donc difficile à réaliser.

Position systématique des coléoptères

Classification

Règne : *Animalia*

Embranchement : *Arthropoda*

Sous-embranchement : *Hexapoda*

Classe : *Insecta*

Sous-classe : *Pterygota*

Infra-classe : *Neoptera*

Superordre : *Endopterygota*

Ordre : *Coleoptera*

(Mamdouh, n.d.)

I.1.4 Identification d'un coléoptère

A cause de leur grand nombre, soit 350 000 espèces, l'identification d'un coléoptère est assez compliquée. L'identification d'un spécimen pourra emprunter deux voies distinctes on

procèdera, soit par comparaison directe avec les illustrations, soit en suivant méthodiquement les clés(Delobel and Tran, 1993).

D'après Delobel et tran,1993,on a deux sortes de d'une part, une clé inspirée de celle de LEPESME (1944), qui permet l'identification des familles d'une manière aussi simple que possible ;d'autre part une clé qui permet l'identification des genres présentant un intérêt économique et cette clé fait appel à des critères morphologiques(élytres, pattes ,couleur...) plus rigoureux que la précédente et nécessite un examen plus approfondi des caractéristiques de l'insecte. Les élytres sont un des indices qui nous montre que c'est un coléoptère ; ces membranes solides qui protègent les ailes les deux ailes qui lui servent au vol. On regarde ensuite les autres caractères physiques pour en déterminer le sous-ordre.

I.2 Céréales

I.2.1 Définition

Une céréale est une plante dont les graines servent de base d'alimentation. Les céréales sont généralement cultivées pour leur grain, réduit en farine, est consommable par l'homme ou les animaux domestiques.la plupart des céréales font parties de la famille des graminées. Elles sont utilisées généralement pour la production de farine. Les céréales représentent pour bon nombre de pays en développement, l'essentiel du régime alimentaire des populations(Gueye et al., 2011).

I.2.2 Céréales rencontrées au Sénégal

Le maïs, le mil, le sorgho et surtout le riz sont les principales céréales rencontrées au Sénégal.

Le maïs

Au Sénégal, comme dans la plupart des Etats sahéliens voisins, le maïs est l'une des principales cultures vivrières et sa promotion est l'un des objectifs fondamentaux de la sécurité alimentaire définis dans la plupart des pays(Ndong et al., 2015).

Le maïs (*zea mays*) est l'une des céréales les plus cultivées au Sénégal. Le maïs est une valeur sûre pour le commerce et sa production permet d'assurer la sécurité alimentaire mais surtout, de progresser le niveau de revenu des producteurs.

Le maïs peut être utilisé en alimentation humaine, en alimentation animale mais aussi en industrie agroalimentaire. Il est considéré comme une culture vivrière utilisée essentiellement comme aliment de base surtout dans la population du sud (céréales, 2018).

Le maïs, *Zea mays sp*, s'est adapté avec succès à de nombreuses régions du monde (tropicales et tempérées) de par sa grande variabilité morphologique et physiologique. Il serait introduit en Afrique par les explorateurs portugais. C'est une plante tropicale, monoïque (la même plante porte, à différents endroits, les fleurs mâles et femelles), allogame (la fécondation est majoritairement croisée, hybridation naturelle, les fleurs femelles sont fécondées par le pollen d'une autre plante) et une herbacée annuelle voire biannuelle de la famille des graminées (Poacées)(NDIAYE, 2018a).

Selon la classification de Cronquist (1981)cité par (NDIAYE, 2018a), l'espèce *Zea mays* (L., 1753) est classée comme suit :

Règne : Plantae

Sous-règne : Tracheobionta

Classe : Liliopsida

Sous-classe : Commelinidae

Ordre : Cyperales ou Poales

Famille : Poaceae

Sous-famille : Panicoideae

Genre : *Zea*

Le mil

Le mil est la 7ème céréale plus importante au monde. Elle est la culture sahéenne par excellence du fait de son adaptation aux conditions particulières de production dans cette région. Le mil se trouve être caractéristique des systèmes de culture les plus dominants occupant plus de 65% de la superficie emblavée(Kadri et al., 2019).

Le mil est la céréale la plus tolérante à la sécheresse. Classé par la FAO comme aliment favorisant la sécurité alimentaire, le millet peut être cultivé dans les zones arides et sèches

d'Asie et d'Afrique. La production de ces deux continents réunis s'élève à 28 millions de tonnes par an, soit 94% de la production mondiale. En Afrique, 70% de la production provient de l'Ouest du continent (Bezançon et al., 1997 ; cité par (Dia, 2019).

Position systématique :

Règne : Plantae

Division : Magnaliophyta

Classe : Monocotylédones

Famille : Poaceae

Sous-famille : Panicoidae

Tribu : Paniceae

Section : Pennicillariae

Genre : *Pennisetum*

Espèce : *glaucum* ou *typhoides*

Nom botanique : *Pennisetum glaucum* L

(Dia, 2019)

Le sorgho

Le Sorgho (*Sorghum bicolor ssp bicolor* (L.) Moench.) est une céréale importante des systèmes de culture, des régimes alimentaires dans des nombreux pays d'Afrique Subsaharienne (Abdou et al., 2014). Les céréales telles que le sorgho, le millet, le blé, le maïs et le riz sont des aliments de base pour la majorité de la population. En 2016 la production mondiale de sorgho était estimée à près de 64 millions de tonnes, la plaçant ainsi au cinquième rang des productions céréalières après le maïs, le blé, le riz et l'orge (Fall et al., 2020). Le sorgho est cultivé sur 45 millions d'hectares dans le Monde. La production de sorgho du Sénégal en 2016 n'était que de 161000 tonnes ; ce qui est inférieur à celle de 2015 (188000 tonnes), soit une baisse de 14% (Fall et al., 2020).

Position systématique

Règne : Plantae

Sous-règne : Tracheobionta

Classe : Liliopsida

Sous-classe : Commelinidae

Ordre : Cyperales

Famille : Poaceae

Sous-famille : Panicoideae

Genre : *Sorghum*

Espèce : *Sorghum bicolor*

Le Riz

Le riz est une des principales cultures céréalières qui constitue la base alimentaire de près du tiers de la population mondiale (FAO, 2012). Environ 140 millions d'hectares sont consacrés à la culture du riz dans le monde (FAO, 2012). Le riz est une denrée très consommée au Sénégal. Il est cultivé sur toutes les positions topographiques, et notamment dans les bas-fonds où le potentiel de rendement estimé entre 5 et 6 t.ha⁻¹ est supérieur à celui des plateaux qui est de l'ordre de 2 à 3 t.ha⁻¹ (Sow, 1996 ; cité (Seye et al., 2018)).

Le riz est principalement utilisé au Sénégal pour la consommation, il est l'aliment de base des Sénégalais. Après le maïs, le riz est la deuxième céréale en termes de surface cultivée et de quantité produite (World Rice statistics, 2005). Elle est la première céréale pour l'alimentation humaine et représente la base de l'alimentation de plus de 25 milliards de personnes dans les pays en voie de développement avec des consommations annuelles très importantes (Courtois, 2007 ; cité par (Dia, 2019)) ; Le riz est une monocotylédone annuelle d'origine tropicale appartenant à la famille des graminées du genre *Oryza*. Au Sénégal, le riz constitue la base de l'alimentation et participe à de multiples usages culinaires

Position systématique :

Règne : Plantae

Sous-règne : Tracheobionta

Division : Magnoliophyta

Classe : Liliopsida

Sous-classe : Commelinidae

Ordre : Cyperales

Famille : Poaceae

Genre : *Oryza*

Espèce : *Oryza sativa* (Dia, 2019)



Figure 2 : carte des principales zones de culture du Sénégal (FAO, 1996)

Source : (lavoixdelavallee, 2019)

I.2.3 Méthodes de stockage et facteurs de dégradation

- Méthodes de stockage

D'après Ntsam,1989,le stockage des céréales consiste à préserver la denrée avec le maximum de sécurité contre les dégradations physiques, chimiques et biologiques, d'empêcher ou de minimiser les attaques de l'entomofaune déprédatrice, et d'assurer la régularité de l'approvisionnement des familles ou des marchés jusqu'à la prochaine récolte(Arab, 2018).

Le bon stockage et la bonne conservation ont pour but de préserver au maximum les qualités originelles des grains et graines(Webmaster, n.d.). Le stockage des grains est destiné : soit pour l'alimentation de la population, soit pour faire le commerce, soit pour garder les semences pour la campagne suivante.

Ainsi, on a plusieurs méthodes de stockages :

❖ Méthodes de stockages traditionnels

Le mode de stockage traditionnel dépend des conditions climatiques, notamment du taux d'humidité ambiant, et des matériaux locaux disponibles. Les agriculteurs utilisent, en général, des greniers dont la description et l'efficacité pratique varient d'une région à l'autre (Arab, 2018) ;Le mode de stockage traditionnel dépend des conditions climatiques, notamment du taux d'humidité ambiant, et des matériaux locaux disponibles. Les agriculteurs utilisent, en général, des greniers dont la description et l'efficacité pratique varient d'une région à l'autre.



Figure 3 : grenier amélioré en matériaux végétaux (bambou tressé)

Source :(Nestor René, 2018)

- **Les greniers traditionnels en tige de bambou ou de nguer** : où les grains sont conservés en épis ou en vrac. Ils sont généralement surélevés pour éviter l'attaque des rongeurs. 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 neem(Webmaster, n.d.).

Ces greniers ont généralement une forme cylindrique avec un chapeau au-dessus. La capacité varie de 1 à 3T. On les retrouvait très souvent au milieu des champs. Maintenant ils sont situés soit à côté ou dans les concessions mêmes ; Dans tous les cas on peut dire que ces greniers n'assurent pas une bonne protection phytosanitaire.

- **Les greniers traditionnels en tiges de bambou tressé enduits d'un revêtement en argile**

Ces greniers ne sont qu'une variante des premières cités. Malgré l'enduit argileux les attaques par les insectes sont fréquentes(Webmaster, n.d.).

❖ **Les chambres ou magasins**

De plus en plus les producteurs conservent leurs denrées dans les magasins ou des chambres reconverties en magasins. Ces magasins sont généralement de forme ou rectangulaire. Les parois sont en banco et la toiture est faite de zinc en tôles ondulées(Webmaster, n.d.). Les denrées y sont conservées en sacs. Malgré des traitements phytosanitaires qui sont parfois appliqués l'infestation par les insectes est souvent présente. La capacité de ces magasins va de 5 à 10T. Ces magasins n'assurent également pas une bonne protection phytosanitaire(Webmaster, n.d.).

❖ Les sacs doublés

Les sacs doublés assurent normalement une très bonne conservation. Il faut que les grains soient secs, que le sac plastique intérieur ne soit pas percé, qu'il n'y ait un fumigant et que le sac soit bien attaché. Dans ces conditions la conservation sans altération est garantie (Webmaster, n.d.). Les sacs doivent être mis à l'abri du soleil pour éviter une rapide dégradation des sacs extérieurs avec les rayons UV. Très peu de producteurs l'utilisent actuellement. Il y a un déficit de vulgarisation mais aussi la forte concurrence des bidons et fûts.

❖ Les bidons et fûts

Ils constituent actuellement le meilleur système de stockage et de conservation au niveau villageois. Déjà avec l'introduction et le suivi des fûts métalliques en 1970 par l'institut de Technologie Alimentaire avec un financement FAO les fûts métalliques dont le principe de base est l'herméticité avaient fini de convaincre par les excellents résultats techniques aussi bien pour les semences que pour les denrées de consommation. Mais un inconvénient de taille était le prix qui était de 16 000F pour le fût de 210L et 5 000F pour le fût de 50L. Actuellement avec la disponibilité des fûts de récupération en matière plastique à des coûts très faibles, ils constituent incontestablement le meilleur système de stockage au niveau villageois et pourquoi pas dans certains cas au niveau central.

Méthode d'utilisation

- Bien sécher les grains ou graines
- Bien vérifier que le fût n'est pas percé
- Bien sécher le fût
- Remplir le fût entièrement de grains ou graines
- Ajouter éventuellement 1 ou 1 fraction de comprimé
- Fermer hermétiquement en s'aidant si possible d'un sac plastique
- Garder le fût à l'ombre et ne pas l'ouvrir avant un minimum de 15 jours(Webmaster, n.d.)

❖ Méthodes de stockages modernes

Stockage en vrac et stockage en sac sont les deux types de stockages modernes

➤ **Stockage en vrac**

C'est un mode de stockage pratique d'utilisation mais qui autorise peu de protection face aux ravageurs (insectes, rongeurs...) et aux micro-organismes responsables des phénomènes de fermentation, moisissures ou pourritures(Garcia, n.d.).Ce type de stockage est utilisé pour la conservation à court et à moyen terme.

Dans ce cas, les grains en tas sont laissés à l'air libre dans des hangars ouverts à charpente métallique (Arab, 2018);Dans ce type de stockage des contaminations sont possibles, d'autant plus que dans ce type de construction, il demeure toujours des espaces entre les murs et le toit, ainsi de libre passage aux oiseaux, rongeurs et insectes est possible.

➤ Le stockage en sac

Est utilisé pour les conservations de longue durée destinées soit à combler les déficits alimentaires, soit à l'industrie de transformation céréalière. La conservation est notablement améliorée si le sac en toile de jute est doublé intérieurement par un sac plastique. Les entrepôts doivent être exempts d'infestation et le produit doit être sec ("PARTIE I Structures de stockage. Président de séance," n.d.).

Céréale	Stockage sur 1 an HR%	Stockage sur 5 ans HR%
Sorgho	13	10-11
Maïs	13	10-11
Riz	12-13	11-12

(S.Ntsam, 1989)

Source : ("PARTIE I Structures de stockage. Président de séance," n.d.).

Tableau I : Humidités recommandées pour diverse céréales

➤ Entreposage en silo

Un silo est un réservoir de grande capacité (généralement de forme cylindrique) destiné à entreposer, à conserver, et à stocker des récoltes (Arab, 2018) ; Il est nécessaire au moins de déposer du matériel suivant: une cellule de stockage propre, un plancher d'aération complète.

On distingue deux types de silos :

- Le silo en métal

Ce type de silo est constitué de cellules formées de plaques en tôles ondulées, d'une épaisseur bien déterminée (Arab, 2018) ; Ces cellules sont destinées pour les céréales sèches de 12 à 13% d'humidité.

- Le silo en béton

C'est le moyen de stockage le plus recherché, il résiste mieux aux pressions et chocs que les silos métalliques. Ces silos sont constitués de plusieurs cellules cylindriques en béton armé, mesurent 20 à 22 mètres de hauteur. L'humidité des grains contenus dans ces silos, ne doit pas dépasser 11% (Cheniki et Yahia, 1994 ; cité par (Arab, 2018)).

- Facteurs de dégradation des grains stockés

Au cours de leurs stockages les grains de céréales sont sujets à de nombreuses altérations d'où des pertes considérables dans le stock(Arab, 2018).

La dégradation des grains stockés peut résulter de deux types de facteurs :

Les facteurs abiotiques qui sont les facteurs du milieu tels que les facteurs chimiques (CO₂, O₂, H₂O) et les facteurs physiques (température et humidité). La température et l'humidité relative sont certainement les plus importantes puisqu'une augmentation de la teneur en eau du produit ou une augmentation de la température permettra d'engendrer un milieu propice aux altérations d'ordre chimique, enzymatique et biologique (Arab, 2018).

Les facteurs biotiques sont les organismes vivants tels que les ravageurs (rongeurs, oiseaux, insectes, acariens) et les parasites (champignons, bactéries).

Les insectes sont considérés comme les prédateurs les plus redoutables, puisqu'ils peuvent vivre sur des grains secs, de plus les céréales constituent un milieu favorable pour leur pullulation(Arab, 2018). Cependant, l'origine de l'infestation des stocks est variable. L'infestation peut débuter au niveau du champ pour certains insectes, comme elle peut également intervenir le long de la chaîne de post récolte empruntée par la denrée et enfin elle peut se faire dans les entrepôts.

En plus, la contamination de la denrée par les insectes à l'intérieur des lieux de stockage, peut être due aux insectes s'y trouvant de dans provenant de la proximité ou encore par un mélange entre des grains sains et ceux contaminés. Les insectes en question appartiennent à l'ordre des Coléoptères et des Lépidoptères(Arab, 2018).

Les principaux agents responsables de l'altération des grains au cours du stockage sont les insectes, les micro-organismes, les rongeurs, la température et l'humidité.



Figure 4 : Dégâts causés par les insectes sur le maïs et le sorgho (A. WAONGO, 2009)

Source: https://www.memoireonline.com/01/14/8569/m_Contribution--l-etude-des-contraintes-de-stockage-des-cereales-mil-mas-sorgho-en-zone-sud-s12.html

I.3 Pertes causées par les coléoptères sur les stocks de céréales au Sénégal

La situation alimentaire est caractérisée au Sénégal et dans le Sahel par l'insuffisance des récoltes à laquelle s'ajoutent des pertes souvent élevées dues en grande partie aux attaques des insectes ravageurs au champ et dans les lieux de stockage (Cissokho et al., 2015). En Afrique subsaharienne, l'action des insectes déprédateurs de céréales et de légumineuses peut anéantir complètement, en quelques mois seulement, des stocks destinés aux vivres et aux semences si aucune protection n'est appliquée (Cissokho et al., 2015). Les dégâts causés par les insectes ravageurs sont de natures diverses et occasionnent dénombrables pertes au niveau des stocks qui sont de nature quantitatives mais aussi qualitatives.

I.3.1 Pertes quantitatives et qualitatives

D'après l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), le Fonds international de développement agricole (FIDA) et le Programme alimentaire mondial (PAM) (2013), 842 millions de personnes soit 12% de la population mondiale n'étaient pas en mesure de satisfaire leurs besoins énergétiques alimentaires entre 2011 et 2013 (Cissokho et al., 2015). Les quantités de céréales récoltées sont nettement plus supérieures à celles destinées à l'alimentation du fait que lors des opérations de collecte et de stockage, on a des pertes qui sont variables et difficilement quantifiables. Les pertes sont essentiellement liées à des ravageurs mais aussi à des accidents météorologiques.

Le déficit en céréales et légumineuses de la plupart des pays sahéliens est resté chronique ces dernières années. En 2012, les baisses de production céréalière les plus importantes ont été

enregistrées en Gambie (56%), au Tchad (49%), au Sénégal (36%), au Niger (31%), en Mauritanie (34%) et au Burkina Faso (20%)(Cissokho et al., 2015).

Les grains attaqués par des coléoptères sont percés de trous d'entrée ou d'émergence et il y'a la présence de cocons dans les grains. Les dommages sont distinctifs : minuscules trous d'entrée, trous d'émergence de plus grand ou/et petit diamètre. En cas d'infestation grave, les stocks des grains entreposés sont réduits en poussière. Ces pertes quantitatives peuvent atteindre 83% au Sénégal.

Les estimations fournies par la FAO (2012) à une échelle plus large, indiquent qu'en Afrique subsaharienne notamment, les pertes alimentaires par habitant sont de 120-170 kg/an et plus de 40% des pertes alimentaires sont constatées pendant la phase d'après récolte et la transformation des produits. En effet, les pertes post-récoltes de céréales, avant transformation, sont estimées à 10-20%, soit environ 4 milliards de dollars et représentent 13,5% de la valeur totale de la production céréalière de ces pays(Cissokho et al., 2015).

Les coléoptères causes d'énormes dégâts en s'alimentant des grains de céréales mais probablement d'avantages en contaminant les grains, par des cadavres d'insectes, les mues et pelotes fécales, ainsi que des liquides (quinone), en donnant une mauvaise odeur aux denrées infestées. Les dégâts causés par les insectes entraînent non seulement une réduction du poids sec, mais également une diminution de la qualité des grains. Cela peut entraîner un refus des aliments par le bétail et un rejet par les acheteurs de grains. Souvent l'infestation des céréales par les insectes favorise le développement de moisissures, qui contribuent à réduire considérablement la qualité et la valeur des grains. En effet, les insectes ravageurs peuvent causer des pertes importantes en réduisant la qualité et la quantité des produits stockées(Gueye et al., 2015)

CHAPITRE II : BIO-ÉCOLOGIE DES COLEOPTERES RAVAGEURS DE CEREALES AU SENEGAL : PRINCIPAUX COLEOPTERES PRESENTENT DANS LES STOCKS DE CEREALES

Les insectes ravageurs de céréales au Sénégal sont abondants et appartiennent en majorité à l'ordre des coléoptères et des lépidoptères. Néanmoins nous nous intéressons ici seulement des coléoptères.

Nous étudierons dans ce chapitre la Bio-écologie des principaux coléoptères ravageurs de stocks de céréales au Sénégal.

II.1 Présentation de l'insecte : *Tribolium castaneum*

II.1.1 Origine et taxonomie

Les insectes coléoptères sont un ordre très diversifié et réussi, et de nombreuses espèces de coléoptères sont d'importants ravageurs agricoles (Knorr et al., 2013). Le coléoptère de la farine rouge, *tribolium castaneum*, est un insecte ravageur mondial des produits stockés, en particulier des céréales alimentaires, et un organisme modèle puissant pour la recherche entomologique développementale, physiologique et appliquée sur les espèces de coléoptères (Rösner et al., 2020). *Tribolium* est aujourd'hui tellement cosmopolite et commensal de l'homme que son origine est incertaine. Il proviendrait de régions d'Asie méridionale au climat chaud et sec, peut-être d'Inde (Bonneton, 2010).

Position systématique :

Règne : Animalia

Embranchement : Arthropoda

Classe : Insecta

Ordre : Coleoptera

Famille : Tenebrionidae

Genre : *Tribolium*

Espèce : *tribolium castaneum*

(Herbst, 1797)

II.1.2 Morphologie de l'insecte

Tribolium castaneum est un coléoptère appartenant à la famille de tenebrionidae. c'est un insecte de 3-4 mm de long (Bonneton, 2010). on le reconnaît par les trois parties du corps (Tête, Thorax et Abdomen) et des antennes dont les trois derniers articles plus gros que les suivants et un chaperon qui ne dépasse pas l'œil latéralement. Étroit, allongé, à bords parallèles, à pronotum presque aussi large que les élytres et non rebordé antérieurement, *T. castaneum* présente des yeux ovales et non surmontés d'un bourrelet semblable à une paupière, et des élytres avec des lignées longitudinales pointillées (Camara, 2009). On observe de 5 à 8 stades larvaires dans les conditions optimales de développement, mais jusqu'à 13 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. Le dernier segment abdominal est terminé par une paire d'urogomphes recourbés vers le haut, dans un plan perpendiculaire à celui du corps. Elle se distingue de la larve de *T. confusum* par la pilosité du labre, réduite à deux touffes de soies latérales (Delobel and Tran, 1993).



Figure 5 : vue dorsale d'un Adulte de *tribolium castaneum*

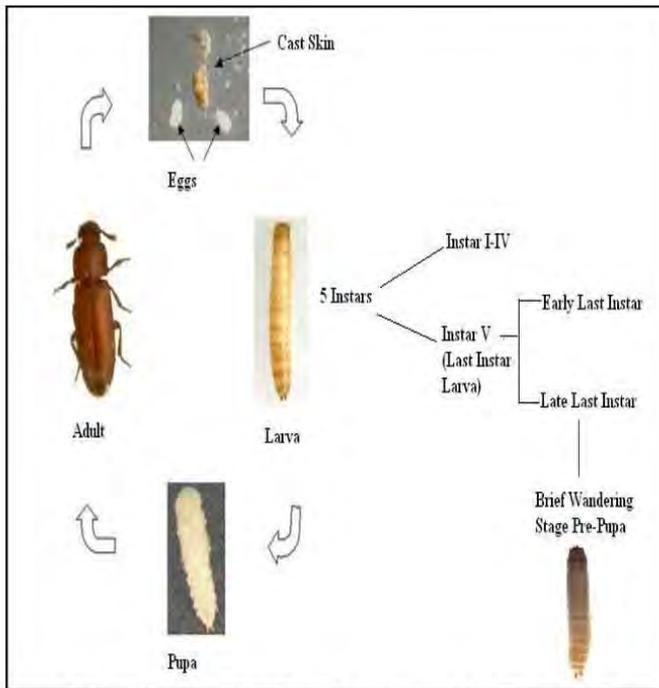
Source : (Arab, 2018)

II.1.3 Bio-écologie

Tribolium castaneum est un insecte facile à élever avec un cycle de développement court de 30 jours. C'est un insecte qui a exceptionnellement une longévité de six mois à quatre ans et une fécondité élevée (Bonneton, 2010) ; *Tribolium* est petit et a un cycle court et s'élève facilement. Ce coléoptère se développe en un mois et se reproduit à température ambiante (25-35°C) dans de la farine contenant 5 % d'extraits de levure, sans eau, avec changement de milieu tous les 3-4 mois.

À 30°C, la vie larvaire dure à peu près trois semaines et l'adulte émerge de la nymphe six jours après sa formation et dont son optimum thermique se situe entre 32 et 33°C, son développement cesse au-dessous de 22°C et il résiste très bien aux basses hygrométries (Camara, 2009). L'adulte de *tribolium castaneum* est un très bon voilier. il se déplace de préférence en fin d'après-midi, par temps chaud et calme, et migre à partir de stocks infestés à la recherche de nouvelles sources de nourriture. On le capture au piège alimentaire. L'adulte est attiré préférentiellement par l'odeur du maïs, (Delobel and Tran, 1993) en cas de pullulation, larves et adultes sont cannibales et se nourrissent de leurs propres œufs et nymphes; elles consomment également toutes sortes de proies immobiles (œufs et nymphes de divers Coléoptères) ou peu mobiles. Selon Diome (2014) le cycle de développement de cet insecte comporte 6 à 9 stades larvaires jusqu'à 13 et la métamorphose s'effectue en 6 jours. La limite inférieure pour le développement larvaire est voisine de 18°, soit un peu plus d'un degré au-dessus de *T. confusum*. On n'observe pas de développement à 10% d'H.R. à 35° ou 38°, mais il est possible à 28 et 25° pour des h.r. inférieures à 10%. La durée moyenne de développement de l'œuf à l'adulte sur millet est de 37 jours à 25°, de 26 jours à 28°, de 23 jours à 35°, de 21 jours à 38° (pour une h.r. de 70%)(Delobel and Tran, 1993).

La durée moyenne de développement de *T. castaneum* est plus courte sur les grains de mil ($29,38 \pm 1,45$ jours) que sur ceux du maïs ($36,3 \pm 1,42$ jours) (Guèye et al., 2012), ce qui révèle que le mil est le grain le plus favorable pour le développement de *T. castaneum*. Son cycle de développement peut être influencé par la disponibilité de nourriture et sa période. Diome(2014) a montré que dans les grains, ceux du mil sont plus favorables au développement de *T. castaneum*.



ation of the life cycle, classification of different develop

Figure 6 : cycle de developement de *tribolium castaneum*

Source : (Sreeramoju et al., 2016)

II.2 Présentation de l'insecte : *sytophilus oryzea*

II.2.1 Origine et taxonomie

Le charançon du riz est une espèce d'insectes Coléoptères de la famille des Curculionidae, caractérisée par la présence d'un long bec ou rostre (Camara, 2009). Cosmopolite, mais surtout présent en zones subtropicales et tempérées chaudes et tropicales du monde. (Delobel and Tran, 1993). L'origine du charançon du maïs reste inconnue de manière certaine comme pour un certain nombre d'insectes notamment les espèces à distribution cosmopolite particulièrement celles des denrées stockées (Akol et al., 2011 & Sauvion et al., 2013 , cité par (NDIAYE, 2018a)).

Position systématique :

Règne : Animalia (animaux)

Embranchement : Arthropoda (arthropodes)

Sous-embranchement : Hexapoda (hexapodes)

Classe : Insecta (insectes)

Ordre : Coleoptera (coléoptères)

Sous-ordre : Polyphaga

Super-famille : Curculionoidea

Famille : Curculionidae

Genre : *Sitophilus*

Espece : *sitophilus oryzae*

(Bouchard et al., 2011)

II.2.2 Morphologie de l'insecte

L'adulte de *sitophilus oryzae* mesure 2,5 à 4,5 mm, de couleur brun à brun noirâtre avec quatre grosses tâches orangées sur les élytres qui sont ponctuées et striées (Camara, 2009). Le charançon du riz vole moins facilement que *S. zeamais*. et certaines souches paraissent avoir complètement perdu l'aptitude au vol. C'est essentiellement un habitant des stocks (Delobel and Tran, 1993). *Sitophilus oryzae* est caractérisée par la présence d'un long bec ou rostre. Les stries élytrales des *sitophilus oryzae* sont grossièrement ponctuées et les inter stries finement ponctuées. Il possède des ailes postérieures membraneuses et peut voler ; (Camara, 2009) La larve est longue de 2,5 à 3mm, de couleur blanche, de forme subcirculaire, apode et très peu velue et les larves se développent à l'intérieur de la graine. La nymphe de forme cylindrique, de couleur blanche ou brun mesure 3,75 à 4mm de long. L'imago mesurant 2,5 à 5mm présente deux grosses taches ocre sur chaque élytre, le rostre moins long que le pronotum est un peu arqué et cylindrique dans sa partie antérieure. Le mâle se distingue de la femelle par un rostre plus court et plus profondément ponctué, aussi les derniers sternites abdominaux sont plus courbés ventralement chez le mâle que chez la femelle. La femelle a une fécondité de 300 œufs et une longévité de six mois La femelle perce une cavité dans la graine, où elle dépose un œuf: l'orifice de ponte est ensuite obturé à l'aide d'un bouchon gélatineux. Ce n'est qu'au moment de l'émergence de l'adulte que le dégât devient visible. La femelle est particulièrement attirée par les grains déjà attaqués. Le spectre alimentaire de l'adulte est beaucoup plus large que celui de la larve (Delobel and Tran, 1993). *S. oryzae* a une préférence pour les grains de petite taille comme le riz, le blé (Obata et al., 2011).



Figure 7 : Adulte de *sitophilus oryzae*

Source : ("*Sitophilus oryzae* (Linnaeus, 1763)," n.d.)

II.2.3 Bio-écologie

En ce qui concerne les céréales, le développement n'est possible que dans des grains ayant une teneur en eau comprise entre 8 à 10% et 16%. Ce qui explique également que *S. oryzae* ne soit que rarement rencontré au champ (Delobel and Tran, 1993). La taille des grains est un facteur qui influence la préférence de ponte des charançons des grains et ne doit pas être négligée (RUSSELL, 1968) ; les adultes de *S. oryzae* préféraient pondre un plus grand nombre des œufs sur les légumineuses, qui sont considérablement plus grosses que les autres céréales testées, le riz et le blé. D'après RUSSELL (1968), les grosses graines étaient plus susceptibles d'être parasitées ou de contenir plus d'un œuf que les graines plus petites et d'après les études actuelles, les paramètres physiques du riz moulu en caoutchouc ($5,18 \pm 0,05$ mm, $2,37 \pm 0,03$ mm, $1,40 \pm 0,04$ g, $14,00 \pm 0,35$ g et $1,65 \pm 0,06$ cm³ de longueur, largeur, poids de 100 grains, poids de 1000 grains et volume de 100 grains respectivement) était supérieur au riz blanchi au fer ($4,95 \pm 0,05$ mm, $2,30 \pm 0,03$ mm, $1,33 \pm 0,04$ g, $13,31 \pm 0,35$ g et $1,41 \pm 0,06$ cm³ de longueur, largeur, poids de 100 grains, poids de 1000 grains et volume de 100 grains respectivement). Le rapport de RUSSELL corrobore encore les résultats actuels car il a observé que le charançon préférait pondre en grains de grande taille. Cohen et Russell (1970) ont constaté que l'infestation des grains de riz par les espèces de *Sitophilus* et *S. cerealella* était liée au nombre de coques béantes ou de paléas et de lemmes brisés. Développement optimal est entre 26 et 31°, pour 70 à 80% d'H.R. les Limites de température: 15-34° (sur riz à 14% D'H.R). Longévité de 7 à 8 mois (jusqu'à deux ans). Fécondité de moins de 200 à plus de 700 œufs par femelle selon les souches et les conditions d'élevage. Les H.R inférieures à 50% réduisent fortement longévité et la fécondité des adultes (Delobel and Tran, 1993).

Les facteurs du milieu jouent un grand rôle sur la dynamique de population et la femelle peut pondre 10 œufs/jours à 32°C, le minimum en humidité relative est de 45 à 50%. Les températures ambiantes ainsi que le support alimentaire influencent beaucoup la durée du cycle de développement de l'espèce. Dans les pays à climat tropical, le développement d'une ponte peut ne demander qu'un mois. Les pontes débutent quelques jours après l'accouplement et se poursuivent pendant quatre mois. Des expériences en laboratoire ont été menées pour étudier l'effet des méthodes de mouture sur l'infestation de *Sitophilus oryzae* sur les grains de riz stockés en 2016-2017. Les résultats de la présente enquête révèlent que le riz blanchi au caoutchouc était plus préféré par les charançons que le riz blanchi au fer avec des différences significatives de perte de poids existant entre les différentes catégories de riz et le pourcentage de perte de poids le plus élevé a été enregistré dans la catégorie du riz SBA ($31,26 \pm 0,60$ et $33,07 \pm 0,62$) et le plus bas de la catégorie de riz SMNA ($24,47 \pm 0,55$ et $25,98 \pm 0,56$) en 2016 et 2017 respectivement. Le pourcentage de grains endommagés le plus élevé a également été enregistré dans la catégorie du riz SBA avec $42,58 \pm 0,48\%$ et $41,22 \pm 0,42\%$ en 2016 et 2017 respectivement. La méthode de deux broyage a également eu un impact notable sur la population adulte de *S. oryzae* produite à partir du grain stocké (Okram and Hath, 2020). Différentes variétés de riz ont montré des niveaux variables de sensibilité à *S. oryzae* (Russell, 1968) mais la différence de sensibilité entre les variétés traditionnelles et améliorées n'a pas encore été largement étudiée.

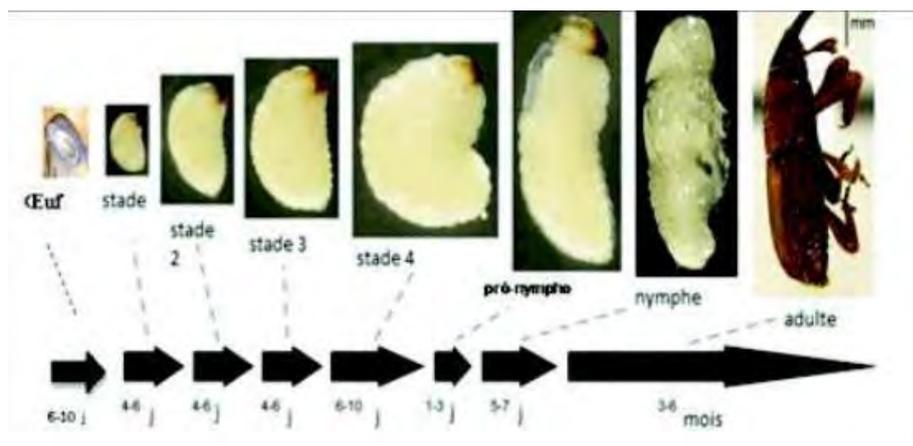


Figure 8 : les différents états de développement de *sitophilus oryzae* L (DAVIS S.R.,2011)

Source : (Derradji-Heffaf, 2013)

II.3 Présentation de l'insecte *sitophilus zeamais*

II.3.1 Origine et taxonomie

Longtemps considéré comme *sitophilus oryzae* de grande taille, *sitophilus zeamais* est un insecte cosmopolite, mieux adapté que *S.oryzae* aux températures et aux humidités élevées. C'est le principal ravageur du riz dans le monde: il est particulièrement répandu en Afrique sur maïs. son origine reste inconnue de manière certaine (Akol et al., 2011 ;cité par (NDIAYE, 2018a)).

Position systématique

Règne : Animalia

Embranchement : Arthropoda

Sous-embranchement : hexapoda

Classe_: Insecta

Sous-Classe : Pterygota

Superordre_: holométabole

Ordre : Coleoptera

Sous-Ordre : Polyphaga

Superfamille : Curculionoidea

Famille : Curculionidae

Sous-famille : Curculioninea

Genre : *Sitophilus*

Espèce : *Sitophilus zeamais*

(Bouchard et al., 2011)

II.3.2 Morphologie de l'insecte

L'Adulte est de couleur brun-rouge foncé et noir, avec en général deux petites taches claires sur chaque élytre, Certains détails morphologiques permettent de distinguer *S. zeamais* de *S. Oryzae* l'épisternite méta thoracique porte, à chacune de ses extrémités, trois rangées de punctuations (deux seulement chez *S.oryzae*) : la fossette frontale située entre les yeux est profonde et allongée(Delobel and Tran, 1993). La ponctuation du pronotum ne laisse pas apparaître de ligne médiane lisse, ou du moins celle-ci n'atteint pas la base de pronotum. L'armature génitale : la face dorsale de l'édéage est creusée de deux sillons longitudinaux (bien visibles en lumière rasante), son extrémité est recourbée et pointue, sclérite en forme de y au 8e sternite invaginé (spiculum ventral) de la femelle qui est censé être arrondi et épais chez *S. oryzae* alors qu'il est pointu et mince chez *S. zeamais*. Dimorphisme sexuel comme chez *s.oryzae*(Delobel and Tran, 1993). Le charançon du maïs est légèrement plus grand que le charançon du riz ; en effet, il mesure en moyenne 2,8 mm contre 2,3 mm(NDIAYE, 2018a). *S. zeamais* préfère les grains de grande taille comme le maïs. Larve semblable à celle de *S. oryzae*. Il y a quatre stades larvaires; la nymphe s'effectue à l'intérieur du grain. Lorsque plusieurs larves sont présentes dans le même grain, il n'en émerge qu'un seul adulte (cannibalisme) (Delobel and Tran, 1993). *Sitophilus zeamais* a une plus grande activité de vol que *S. oryzae* ; et donc une capacité de dispersion naturelle plus grande. Il y a aussi un effet significatif du type de céréales, en général, les insectes élevés sur le maïs ont une plus grande activité de vol que ceux élevés sur le blé. En effet, l'activité de vol de *Sitophilus zeamais* est de 35% sur le maïs contre 18% sur le blé(Vásquez-Castro et al., 2009).



Figure 9 : Adult *Sitophilus zeamais* Motschulsky. (Jörg et al., 2004)

Source : (Jacob et al., 2014)

II.3.3 Bio-écologie

Le Développement optimum de *sitophilus zeamais* est entre 27 et 31°, pour 70% d'h.r.sur. Les céréales ayant une teneur en eau inférieure à 10% ne sont que peu attaquées(Delobel and Tran, 1993).Les variétés de maïs à spathes enveloppant hermétiquement l'épi sont relativement protégées contre *S. zeamais* (infestation réduite de moitié environ) ; mais d'autres ravageurs peuvent offrir des portes d'entrée aux charançons. De nombreux autres facteurs interviennent dans les mécanismes de résistance du maïs à *S. zeamais* : parmi les principaux: dureté du péricarpe, teneur en protéines, teneur en acides phénoliques du péricarpe (notamment l'acide (E) férulique), teneur en acide palmitique. Les variétés de paddy à glumelles hermétiquement fermées ou résistant à la cassure sont moins infestées que les autres variétés(Delobel and Tran, 1993). Le cycle de développement complet des charançons, qui sont des espèces holométaboles et polyvoltines, est de 26 à 35 jours dans les zones tropicales et sub-tropicales (Haryadi et FleuratLessard, 1994 ; Seck, 2009 ; Gallo et al., 2002 ; cité par (NDIAYE, 2018b) ; et enfin, il est de 31 jours environ à 27,5°C pour la souche symbiotique (Charles, 1997 ; Lefèvre, 2004). Ce cycle peut atteindre 110 jours dans des conditions très défavorables (Cornelius et al., 2008).

En effet, selon Seri-Kouassi et al. (1987), la diversité des conditions écologiques entraînent l'adaptation des populations tandis que leurs cycles subissent des variations. Les données écologiques influenceraient donc les paramètres biologiques des populations. Chez *S. zeamais*, la maturité sexuelle est acquise dès le jour même où l'insecte sort du grain. Les femelles se déplacent sur la nourriture pour libérer l'hormone sexuelle, la phéromone ; et les mâles sont alors attirés par cette phéromone pour l'accouplement (Mason, 2003).

Le développement larvaire (3 à 4 stades larvaires et un stade nymphal) jusqu'à l'âge adulte se déroule à l'intérieur du grain. L'incubation des œufs va de 3 à 6 jours (Gallo et al., 2002). En général, les larves du genre *Sitophilus* se nourrissent préférentiellement d'endosperme ou de germe, réduisant alors les valeurs nutritives des protéines et vitamines (Dal Bello et al., 2001). La limite inférieure concernant la température pour le développement de l'œuf à l'adulte des charançons est de 15,6°C et la limite supérieure est de 32,5°C à 75% d'humidité relative (Thrône, 1994). Après la mue imaginale, l'adulte reste un à deux jours dans le grain avant l'émergence selon la température (Longstaff, 1981 ; Charles, 1997)(NDIAYE, 2018a).

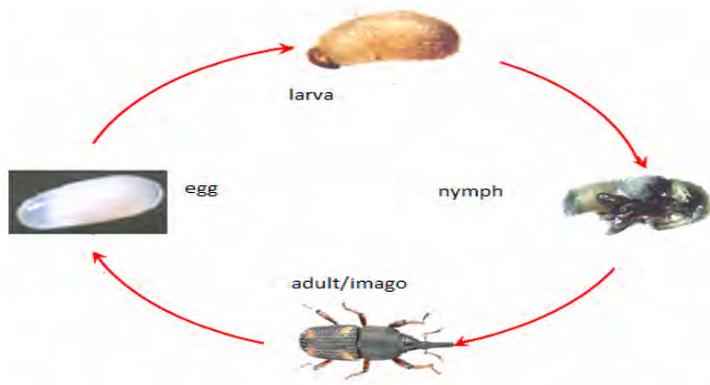


Figure 10 : cycle de développement de *sitophilus zeamais* (Meikle et al., 1999)

Source : (Jacob et al., 2014)

II.4 Présentation de l'insecte : *Prostephanus truncatus*

II.4.1 Origine et taxonomie

Prostephanus truncatus a été décrit pour la première fois par Horn, 1878 sous le nom de *Dinoderus truncatus* (Delobel and Tran, 1993). Ce ravageur bostrichidé d'origine méso-américaine a été accidentellement introduit en Afrique il y a une trentaine d'années et a commencé à se propager sur le continent à partir de deux points géographiquement disparates (Gueye et al., 2008). L'histoire de *Prostephanus truncatus* en Afrique est décrite depuis son foyer initial en Tanzanie à la fin des années 1970 jusqu'à nos jours (Farrell and Schulten, 2002). Il vient d'être découvert pour la première fois au Sénégal dans deux sites du département de Kolda à 12°50'57"N 15°02'36"W et 12°54'35"N 14°57'01"W et dans la nouvelle région de Kédougou à 12°29'20"N 12°17'26"W (Gueye et al., 2008). Il est probable que *P. truncatus* a été introduit au Sénégal à partir de la Guinée Conakry par le biais des transactions qui s'effectuent notamment au niveau des marchés hebdomadaires frontaliers (Delobel and Tran, 1993). En Afrique, *Prostephanus truncatus* (Horn), le plus gros foreur des céréales, est un ravageur sérieux des produits stockés principalement du maïs stocké (Gueye et al., 2008).

Position systématique :

Règne : Animalia

Embranchement : Arthropoda

Classe : Insecta

Ordre : Coléoptère

Famille : Bostrichidae

Genre : *Prostephanus*

Espèce : *Prostephanus truncatus*

(Bouchard et al., 2011)

II.4.2 Morphologie de l'insecte

L'adulte est marron foncé avec des antennes rousses et La face est divisée en deux parties. La postérieure (front) plus longue que l'antérieure. L'antenne compte 10 articles, les trois derniers constituant une massue. Les élytres portent des rangées plus ou moins régulières de points et sont brusquement tronqués en arrière ; leur face postérieure est granulée entre les points et porte une carène marginale arquée. La longueur est de 2,2 à 3,9 mm. L/I (corps) : 2,8(Delobel and Tran, 1993).

La larve se distingue de celle des espèces voisines par la présence d'un sillon transversal sur chacun des cinq premiers tergites, de soies isolées sur les parties latérales des sternites abdominaux et par la forme de la mandibule, qui présente une mola allongée(Delobel and Tran, 1993). Elle est de couleur blanche, charnue et peu couverte.il y'a trois stades larvaires: le dernier construit une logette de nymphose en agglomérant des particules végétales à l'aide d'une substance visqueuse(Delobel and Tran, 1993).



Figure 11 : Adulte de *Prostephanus truncatus*

Source : (Gueye et al., 2008)

NB : l'espèce *Prostephanus truncatus* est très semblable à l'espèce *Rhyzopertha dominica* qui est un ravageur des stocks de riz ayant une taille plus petite et dont les élytres sont parcourus par des rangées de trous sur toute sa longueur.

II.4.3 Bio-écologie

L'espèce *Prostephanus truncatus* est considérée comme un insecte forestier qui est devenu relativement récemment un ravageur du produit stocké (Hill et al., 2002). *P. truncatus* a tendance à se produire dans les basses terres humides et a tendance à être présent en plus grand nombre dans les régions des hautes terres plus froides. Les captures de pièges à phéromones peuvent être des prédicteurs importants du risque d'infestation des magasins. Couplées au développement d'un modèle d'activité de vol fondé sur des règles, ces études peuvent offrir la perspective de prédire le risque d'infestation des entrepôts sur la base de mesures de température et d'humidité (Hill et al., 2002). *P. truncatus* ne peut pas se développer dans les petites céréales, telles que le blé, l'orge et le riz, mais il y a des indications que ces produits peuvent servir d'habitats «vecteurs» pour une propagation géographique plus poussée.

D'après l'étude faite par (Hill et al., 2002), aucune production de descendance n'a été enregistrée à 20 ° C est attribué aux besoins thermiques de cette espèce. Par conséquent, on considère généralement qu'à 20 ° C, le cycle de *P. truncatus* est lent et c'est pourquoi la production de descendance a échoué, même dans les flacons témoins ; L'augmentation de la température a augmenté la production de descendance, mais il n'y avait pas de tendances

spécifiques pour 25 et 30 ° C, malgré le fait que 30 ° C est généralement plus approprié pour le développement de *P. truncatus*.

D'après (Delobel and Tran, 1993) la limite inférieure pour le développement préimaginal est comprise entre 15 et 18°. La limite supérieure entre 37 et 40° (pour une h.r. de 70%). Le développement reste possible à 40% d'H.R. entre 22 et 35° : à 30% d'H.R. entre 25 et 30°. Dans les conditions optimales (30-32° et 70-80% d'H.R.). La durée de l'œuf à l'adulte est en moyenne de 24 jours sur maïs non égrené, un peu plus sur manioc : la longévité est de 61 jours pour les femelles, 45 pour les mâles. La fécondité est beaucoup plus élevée sur maïs en épis (moyenne 430 œufs par femelle à 30°) que sur maïs égrené (moyenne: 51 œufs à 32°)(Delobel and Tran, 1993).

Les adultes de *P. truncatus* vivent longtemps et peuvent se multiplier rapidement, seulement en quelques semaines (Nansen et Meikle, 2002; Hill et al., 2002) ; C'est un colonisateur primaire et peut facilement infester les grains intacts. De plus, en raison de sa longévité, cette espèce a une longue période pour dévaster les céréales stockées. Cette espèce a été introduite accidentellement en Afrique à la fin des années 1970 ou au début des années 1980, où en peu de temps elle s'est propagée dans au moins 15 pays (Hodges 2002). Bien qu'en Amérique centrale, cette espèce n'était pas un ravageur majeur du maïs stocké, en Afrique, elle est devenue le ravageur le plus dangereux du maïs stocké

II.5 Présentation de l'insecte *tribolium confusum*

II.5.1 Origine et taxonomie

Le coléoptère confus de la farine, *Tribolium confusum* (Coleoptera: Tenebrionidea), est l'un des ravageurs les plus importants dans les minoteries et partout où les produits céréaliers et autres aliments séchés sont transformés ou stockés (Campbell, Arthur et Mullen, 2004 ; cité par (Liao et al., 2020)). L'espèce paraît être d'origine africaine ; elle semble avoir été nuisible en Egypte dès la 6^e dynastie. Devenu cosmopolite, mais souvent supplanté (même en Afrique) par *T. castaneum* (Delobel and Tran, 1993).

Position systématique :

Règne : Animalia

Embranchement : Arthropoda

Sous-embranchement : hexapoda

Classe : insecta

Sous-classe : pterygota

Super ordre : holometabola

Ordre : coleoptera Linnaeus, 1758-beetles, coléoptères, besouro

Sous-ordre : polyphoga Emery, 1886

Superfamille : Tenebrionoidea Latreille, 1802

Famille : Tenebrionidae Latreille, 1802-darkling beetles

Genre : *Tribolium*

Espèce : *Tribolium confusum* Jaquelin Du Val, 1868-confused flour beetle, *tribolium* brun de la farine

II.5.2 Morphologie de l'insecte

Le *tribolium confusum* est assez difficile à distinguer de ses nombreux insectes appartenant au même genre *Tribolium*. L'adulte est de taille un peu supérieure à *T. castaneum*, et de couleur plus foncée.

Les derniers articles des antennes s'élargissent progressivement, sans former de massue distincte ; l'œil est surmonté par une crête, il est rond et plus petit que chez *T. castaneum* ; sa partie la plus étroite ne mesure pas plus de deux facettes de largeur (Delobel and Tran, 1993). Les deux premiers inter stries des élytres sont plats ou carénés tout au plus à l'apex.

D'après Delobel et tran, 1993, le dimorphisme sexuel est caractérisé par les stries des élytres interrompues avant l'extrémité chez le mâle et chez la femelle, les stries 4-6 et 7-3 se

rejoignent à l'apex. De plus, la base du fémur antérieur du mâle porte ventralement un tubercule pilifère.

Longueur: 2,6 mm à 4,4 mm ; L/I (corps) : 3,2 ; L/I (pronotum) : 0,75 à 0,80. La Larve de *tribolium confusum* est jaunâtre, vermiforme, se diffère de celle de *T. castaneum* que par la pilosité du labre, régulièrement répartie sur toute la surface: il y a 7 ou 8 stades larvaires (Delobel and Tran, 1993).

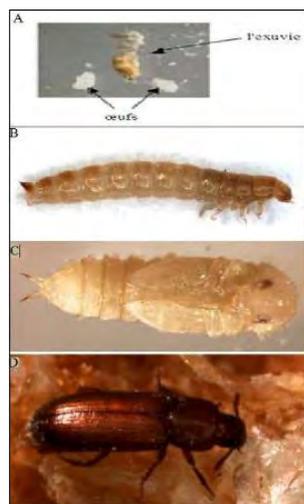


Figure 12 : Différents états de *T. confusum* (Du val.) A : l'œuf (Rebecca *et al*, 2003) ; B: larve ; C: nympe ; D: adulte (Walter, 2002)

Source : https://www.memoireonline.com/03/13/7081/m_Activite-insecticide-de-cinq-huiles-essentielles-vis--vis-de-Sitophilus-oryzae-Coleoptera--Curc6.html

II.5.3 Bio-écologie

Le *tribolium* brun de la farine est un psychophage, mycophage, accessoirement prédateur. La polyphagie est beaucoup moins accentuée que chez *T. castaneum* ; le développement complet est cependant possible sur certaines moisissures. Les farines infestées sont fortement dépréciées par l'odeur et la couleur communiquées par des quinones sécrétées par l'insecte ; elles perdent en outre une partie de leur valeur panifiable. Le développement est favorisé par la présence de grains brisés, détruits et en poussières (Delobel and Tran, 1993). Parmi les insectes qui infestent les denrées entreposées, le *tribolium* brun de la farine est l'un de ceux dont les populations augmentent le plus rapidement. Il peut se reproduire dans des températures plus fraîches que le *tribolium* rouge de la farine.

Développement: la limite inférieure pour le développement larvaire est du *tribolium confusum* est de 20°, la limite supérieure est de 38° ; l'optimum se situe entre 30 et 33°, pour 70%

d'H.R. On n'observe aucun développement aux H.R inférieures à 10% Sur farine de blé additionnée de levure, la durée de développement de l'œuf à l'adulte est de 54 jours à 24°, 28 jours à 29°, 26 jours à 34°. La longévité moyenne dépasse généralement 6 mois et peut atteindre près de 4 ans. La fécondité moyenne est voisine de 500 œufs (on a observé plus de 1 400 œufs dans les meilleures conditions, au laboratoire) (Delobel and Tran, 1993).

II.6 Présentation de l'insecte *Rhyzopertha dominica*

II.6.1 Origine et taxonomie

Appartenant à la famille des Bostrychidae, *Rhyzopertha dominica*, appelé aussi capucin des grains est un insecte de l'ordre de coléoptère originaire d'Asie du Sud-Est ; il est actuellement répandu dans l'ensemble des zones tropicales, subtropicales et tempérées chaudes (Delobel and Tran, 1993). C'est l'un des plus petits coléoptères nuisibles aux grains emmagasinés comme le blé, le maïs et le riz (LEPESME, 1944 ; cité par (Ould Arab and Talbi, 2017)).

Position systématique :

Règne : Animalia

Embranchement : Arthropoda

Sous-embranchement : Hexapoda

Classe : insecta

Ordre : coleoptera

Famille : Bostrychidae

Genre : *Rhyzopertha*

Espèce : *Rhyzoperta dominica*

LEPESME (1944) ; cité par (Ould Arab and Talbi, 2017))

II.6.2 Morphologie de l'insecte

L'adulte est de couleur brune, de forme cylindrique avec des côtés nettement parallèles, caractéristiques des Bostrychidae. C'est un insecte de petite taille de 2,2 à 3 mm de longueur avec un prothorax qui couvre entièrement la tête d'où le nom du « capucin des grains »(Mohammed, 2008). C'est la plus petite des espèces de Bostrychidae(Delobel and Tran, 1993).Cet insecte présente des antennes en massues de 3 articles ; Vu de la face dorsale, le pronotum se termine par une rangée de dents régulières (12 à 14)(Ould Arab and Talbi, 2017). Les élytres sont bien développés et ponctués longitudinalement. Les adultes peuvent voler ce qui facilite les infestations(Mohammed, 2008). La différenciation des sexes sur la base de caractères externes est délicate : chez la femelle, le dernier segment abdominal est généralement d'une coloration plus pâle que le reste de l'abdomen, mais seulement chez les individus vivants : chez le mâle, on peut observer une ligne transversale de points enfoncés au milieu de ce même segment: la frange de soies apicales est plus courte chez le mâle que chez la femelle(Delobel and Tran, 1993).

Les œufs sont piriformes, de couleur blanc et rose. Ils peuvent atteindre 0,6 mm de longueur sur 0,2 mm de largeur(Mohammed, 2008). À l'éclosion, la larve présente une épine pygidiale, de couleur jaune, insérée au bord dorsal d'une cavité formant une ventouse. À maturité, elle mesure un peu moins de 3 mm de long, est de couleur blanche à tête brunâtre, avec les mandibules plus sombres, armées de trois dents distinctes. L'antenne comporte deux articles distincts seulement. Le corps est légèrement incurvé, moins épaissi au niveau du thorax. Le développement de la larve s'effectue en 4 stades larvaire (Ould Arab and Talbi, 2017).



Figure 13 : Adulte de *Rhyzopertha dominica* Fabricius, 1792

Source :(Schmidt, 2004)

II.6.3 Bio-écologie

L'adulte de *R. dominica* est responsable de pertes qu'on estime être huit fois supérieures à celles occasionnées par la larve (Delobel and Tran, 1993). L'infestation du grain est favorisée par une teneur en eau élevée et la présence de moisissures en surface. Cependant, le développement reste possible dans des grains ayant une très faible teneur en eau 8 à 9% seulement. Le développement est impossible sur riz poli, probablement par manque de certains éléments indispensables. La présence de grains brisés dans un stock favorise le développement des populations (Delobel and Tran, 1993). Les adultes s'accouplent et pondent à plusieurs reprises, le total des œufs déposés varie de 300 à 400. Les pontes s'échelonnent sur plusieurs semaines. Les œufs sont pondus, soit isolément, soit en petits amas à l'intérieur des grains attaqués. La durée moyenne d'incubation est de 15 jours à 26°C et 65% d'humidité relative. Elle est de 9 jours à 21°C et 70% H.R. Après l'éclosion, les larves s'introduisent dans les grains en creusant des tunnels aux alentours de l'albumen et continuent leur développement à l'intérieur. Des larves, dans certains cas sont capables de se nourrir et de se développer librement entre les grains. Le nombre de mue varie de 2 à 4 à une température de 29°C et de 70 à 80% H.R (BENAYAD, 2008 ; cité par (Ould Arab and Talbi, 2017). Le petit foreur des céréales, *Rhyzopertha dominica* (F.) est un ravageur sérieux des céréales stockées qui a une distribution mondiale causant de graves dommages aux céréales. En tant que colonisateur primaire, il peut facilement infester les noyaux sains (Hill et al., 2002). Les femelles adultes pondent parmi les grains de grain et les jeunes larves écloses consomment les débris ou la poussière de grain et, plus tard, terminent leur développement à l'intérieur de la graine de grain (Hill et al., 2002).

D'après THOMSON (1966) La durée de développement des différents stades larvaires à 17 jours et les stades pré nymphe et nymphe à 7 jours à 29°C et 70% H.R, la durée du cycle est en moyenne de 38 jours. Par ailleurs, la durée de développement sur le blé à 14% de teneur en eau du grain et 30°C varie de 30 à 40 jours et de 58 jours à 26°C. La température optimale pour le développement de *R. dominica* est 28°C (Ould Arab and Talbi, 2017). Une infestation peut passer longtemps inaperçue, l'accroissement des populations étant souvent très lent au départ, surtout si la température est inférieure à 30°. L'insecte est capable de se maintenir durant de longues périodes à des niveaux de population très faibles *R. dominica* est particulièrement sensible aux chocs et aux mouvements de la masse du grain et ne se développe bien que si le milieu n'est pas perturbé (Delobel and Tran, 1993).

La biologie de *R. dominica* a été étudiée par plusieurs auteurs sur des denrées comme le blé et le sorgho . Ces auteurs ont montré que *R. dominica* passait par 4 stades larvaires suivis d'un stade nymphal qui précède le stade adulte. La durée de développement est de 38 jours sur le sorgho et varie entre 25 et 65 jours sur le blé pour une humidité relative de 70% et des températures allant de 25 °C à 34 °C(Antoine et al., 2018).

II.7 Présentation de l'insecte *Oryzaephilus surinamensis*

II.7.1 Origine et taxonomie

Appartenant à l'ordre des coléoptères, l'insecte *Oryzaephilus surinamensis* est présent dans le monde entier. C'est l'un des organismes nuisibles les plus rencontrés dans les stockages des produits alimentaires.

Position systématique :

Règne : Animalia

Embranchement : Arthropoda

Sous-embranchement : Hexapoda

Classe : Insecta ;

Sous-classe : Pterygota

Ordre : Coleoptera

Sous-ordre : Polyphaga

Superfamille : Cucujoidea

Famille : Silvanidae

Genre : *Oryzaephilus*

Espèce : *Oryzaephilus surinamensis*

(Linné, 1758)

II.7.2 Morphologie de l'insecte

L'*Oryzaephilus surinamensis* est un insecte au corps étroit de couleur brun sombre à pilosité dorée (des mutants de couleur noire existent) (Delobel and Tran, 1993). Elle se distingue des autres espèces du genre *Oryzaephilus*, par la dimension des tempes. Aussi longues que les yeux et par le diamètre oculaire (Delobel and Tran, 1993). L'armature génitale mâle a une lobe médian sans processus ventral; paramères allongés, à bords presque parallèles, pourvus de longues soies fourchues. Longueur du corps: 1,7 mm à 3.3 mm selon les races. L/l (corps) : 3,6-3.7 (male) : 3,5-3,6 (femelle). L/l (pronotum): 1,22 (male) ; 1,15 (femelle). Les larves d'*Oryzaephilus surinamensis* sont de formes aplaties. Selon Delobel et Tran, 1993, il y a trois à cinq stades larvaires (généralement quatre). Les larves à maturité sont blanche à jaune pâle, subcylindrique, légèrement élargie en arrière, mesurant 2,5 à 3 mm ; deux taches brunes à la face dorsale de chaque segment. Ocelles non groupés en taches distinctes ; Segments thoraciques 2 à 7 à plaque dorsale portant 4 longues soies au bord postérieur. Dernier tergite abdominal portant deux tubercules. Tous les stades se déplacent activement dans le milieu: le dernier tisse un cocon de soie où a lieu la nymphose.

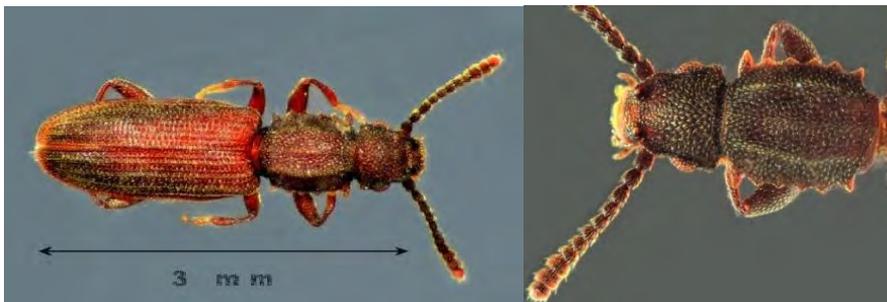


Figure 14: Adulte d'*oryzaephilus surinamensis* avec gros plan sur le pronotum montrant 6 fortes dents sur les côtés avec la 1ère et la dernière plus grandes (micro photos J.P. Marino)

Source : <http://aramel.free.fr/INSECTES11-11%27.shtml>

II.7.3 Bio-écologie

L'adulte *d'oryzaephilus surinamensis* est très actif mais vole rarement. il infecte tous les céréales. Il s'agit de l'un des deux insectes (avec le Ténébrionidea, *Tribolium castaneum*) les plus nuisibles aux produits céréaliers. C'est un psychophage : les céréales intactes ne sont pratiquement pas attaquées, sauf si elles sont humides. Le développement est favorisé par la présence d'impuretés, de poussières (Delobel and Tran, 1993). La limite inférieure pour le développement larvaire se situe en dessous de 17.5° à 50-70% d'H.R et entre 17,5° et 20° à 30% d'H.R. La limite supérieure est au-delà de 35°.

L'optimum se situe entre 31 et 34° pour 90% d'H.R. La durée de développement de l'œuf à l'adulte sur blé égrugé est d'environ 29 jours à 35°, 21 jours à 30°, 32 jours à 25°, 67 jours à 20° (pour une H.R de 70%). A 30° le développement larvaire de la femelle dure en moyenne 1,6 jour de plus que celui du mâle *O. surinamensis*, qui supporte des taux d'humidité de l'air de l'ordre de 10%. Mais la sensibilité à la sécheresse varie selon les souches. Les céréales sont les aliments qui conviennent le mieux au développement d'*O. surinamensis*. Dans certains milieux mal adaptés (par exemple sur arachide), la larve complète son alimentation en se comportant en prédateur d'autres insectes ou en saprophage. La femelle a une fécondité d'environ 375 œufs au cours de sa vie moyenne (six à dix mois). La fécondité varie selon la densité de la population : des femelles maintenues dans un élevage à forte densité peuvent voir leur fécondité réduite de moitié (Delobel and Tran, 1993). Néanmoins la longévité d'*oryzaephilus surinamensis* peut aller jusqu'à trois ans. Cependant la durée du cycle complet d'œuf à œuf peut varier de 27 à 315 jours suivant que le développement se fait en pays tropical ou tempéré.

Tableau II : Principaux insectes coléoptères présent sur les stocks de céréales (Maïs, Mil, Sorgho et Riz) au Sénégal

Familles	Espèces	Maïs	Mil	Sorgho	Riz
Ténébrionidae	<i>Tribolium confusum</i>	+	+	+	+
	<i>Tribolium castaneum</i>	+	+	+	+
Silvanidae	<i>Oryzaephilus surinamensis</i>	+	+	+	+
Curculionidae	<i>Sitophilus oryzae</i>	+	-	-	+
	<i>Sitophilus zeamais</i>	+	-	+	+
Bostrichidae	<i>Protephanus truncatus</i>	+	-	-	-
	<i>Rhizopertha dominica</i>	+	+	+	+

CHAPITRE III : METHODES DE LUTTE DES COLEOPTERES RAVAGEURS DE STOCKS DE CEREALES AU SENEGAL

Afin de délimiter la multiplication et minimiser les dégâts des coléoptères sur les céréales, plusieurs méthodes de lutte ont été développées : méthodes traditionnelles et les méthodes modernes.

III.1 Méthodes traditionnelles

Les paysans ont développé depuis des années des techniques souvent très élaborées et maîtrisées (Nanfack et al., 2015). ces méthodes sont développées, organisées et exploitées pour lutter contre les insectes ravageurs.

III.1.1 Utilisation des plantes insecticides

L'usage des plantes indigènes dans la conservation des récoltes a été pratiqué avant même l'apparition des insecticides de synthèse. Les plantes sont utilisées contre les ravageurs pour leurs effets répulsifs, de contact ou fumigant. Les molécules actives peuvent varier d'une famille à une autre et à l'intérieur d'une même famille et la sensibilité peut différer pour un insecte donné d'un stade à un autre (Gueye et al., 2011). l'utilisation des plantes insecticides est moins coûteuse, mais on n'a pas en général de données sur la toxicité des plantes. Les Méliacées sont parmi les plantes les plus expérimentées pour leur effet de contact et le neem en est sans doute l'espèce la plus étudiée dans ce cadre (Facknath, 2006). En effet, il a été démontré que l'extrait du neem constitue un mélange de plus de 100 composés qui sont responsables de la mortalité des insectes (Addea-Mensah, 1998). Le neem *Azadirachta indica* est sans doute la plante la plus étudiée pour ses propriétés antiappétantes, répulsives, toxiques et inhibiteur de la croissance des insectes (Gueye et al., 2011).

Les agriculteurs des régions tropicales, depuis toujours confrontés aux dégâts d'insectes, ont adopté des méthodes de protection plus compatibles avec leurs moyens techniques et financiers (Dogo, n.d.). Des nombreuses contraintes ont conduit plusieurs auteurs à évaluer l'efficacité des méthodes traditionnelles dans différentes conditions écologiques. L'analyse de leurs travaux permet de distinguer des méthodes préventives et des méthodes curatives.

Les méthodes préventives ont pour but de réduire l'infestation initiale des insectes, grâce à des techniques culturales simples (Seck, 1994).

Les méthodes préventives concernent aussi l'hygiène des infrastructures de stockage et la conservation des graines dans des emballages étanches (CASWELL, cité par VAN HUIS, 1991).

Parmi **les méthodes curatives**, on peut citer l'utilisation de la chaleur (ZEHRER, 1980), de substances minérales ou inertes (DE LUCA, 1962 ; OFUYA, 1986 ; WOLFSON et al., 1991 ; SWAMINATHAN et al., 1975 ; HUBER, 1990), le stockage en milieu hermétique mais surtout l'utilisation de plantes et de dérivés végétaux (Seck, 1994).

Au cours des vingt dernières années, de nombreuses synthèses bibliographiques permettent de répertorier plusieurs milliers d'espèces végétales actives ou déjà testées contre les ravageurs des cultures et des récoltes (GOLOB & WEBLEY, 1980 ; REES et al., 1993).

Par exemple : La cendre des tiges de mil a des effets insecticides sur les insectes ravageurs des céréales entreposées principalement *S. zeamais* et *S. oryzae*. La cendre à la proportion 15 % protège efficacement le sorgho et le maïs des attaques de *S. zeamais* et *S. oryzae* (Institut des Sciences Halieutiques, Université de Douala, BP 7236, Douala - Cameroun et al., 2018). Les formulations poudreuses neem + cendre sont plus efficaces sur les deux ravageurs que les poudres des feuilles ou d'amandes de neemier prises séparément ; cet effet synergique est principalement plus notable sur le charançon du maïs *S. zeamais*.

L'effet des poudres moulues de deux plantes tropicales, *Lantana camara* L. et *Tephrosia vogelii* Hook, sur le niveau des dommages causés par les insectes et les paramètres de qualité des grains du maïs stocké a été évalué pendant cinq mois. Les évaluations visaient à générer des traitements de produits naturels adaptés à la protection des céréales après récolte et en tant qu'alternatives durables aux insecticides synthétiques dans la lutte contre le charançon du maïs, *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Ogendo et al., 2004).

III.1.2 Les huiles essentielles

Plusieurs travaux ont montré que les huiles essentielles des plantes sont biologiquement actives contre les ravageurs des denrées stockées par contact direct ou par inhalation (Cissokho et al., 2015). Leur application dans la protection des stocks a fait l'objet de nombreux travaux (Gueye et al., 2011). Les huiles essentielles de *O. gratissimum* et *Xylopiya aethiopica* ont montré une activité insecticide sur *S. zeamais* (Martin et al., 2003). Toutefois, la sensibilité des larves de *T. castaneum* à ces deux huiles essentielles diminue avec l'âge (Habiba et al., 2005).

Ogendo et al. (2008) ont quant à eux démontré la toxicité des huiles essentielles de *Ocimum gratissimum* L. à 1 µl.l⁻¹ sur *R. dominica*, *O. surinamensis* et *C. chinensis* (L.) avec des taux de mortalité de 98 à 100 % en 24h (Ogendo et al., 2008). Les huiles essentielles de certaines plantes sont utilisées pour leurs activités de contact et inhalatoire qui n'offrent pas souvent le même degré d'efficacité selon la cible visée(Gueye et al., 2011). les huiles essentielles appartenant principalement aux Apiaceae, Lamiaceae, Myrtaceae et leurs composants dont les monoterpénoides testées pour leur toxicité fumigène sont efficaces contre les ravageurs des denrées stockées y compris *S. zeamais* et *T. castaneum* (Cissokho et al., 2015).

III.1.3 Utilisation des matières inertes

L'utilisation des poudres inertes naturelles joue un rôle important dans la conservation des denrées stockées. Leur principal avantage repose sur leur innocuité (Golob, 1997). Selon Banks et Fields (1995), Il existe quatre types de poudres inertes desséchantes abrasives, en l'occurrence la terre (Argile poudrée, sable, terre...), la terre à diatomées (Protect-It, Dryacide, Silicosec...), les gels siliceux, et les poudres inertes non siliceuses [(roches phosphatées, terre soufrée, chaux (hydroxyde de calcium), calcaire (carbonate de calcium), sel (chlorure de sodium)]. Cendre et sable fin sont traditionnellement utilisés dans la conservation des stockages. Ils sont mélangés aux grains et remplissent les vides entre les grains, et constituent une barrière à la progression des femelles cherchant à se multiplier. L'utilisation de la cendre et du sable est limitée au stockage traditionnel en grenier.

L'insecte meurt lorsqu'il a perdu 60% de son eau ou 30% de sa masse corporelle (Ebeling, 1971). La cendre et le sable fin sont utilisés pour traiter les stocks selon des proportions et des pratiques qui varient suivant les régions. Ces matériaux pulvérulents remplissent les vides entre les graines et constituent une barrière à la progression des femelles cherchant à pondre(Cissokho et al., 2015). Ces matériaux auraient un rôle abrasif sur les insectes et entraîneraient leur déshydratation en adsorbant ou abrasant le film lipoprotéique protégeant leur cuticule(Cruz et al., 1988).D'après Cissoko et al.,2015,Les doses préconisées varient de 1-2% du poids des denrées à 0,25%-0,5% suivant la qualité des poudres et la teneur en eau du grain qui ne doit pas dépasser 15%. L'utilisation de la cendre et du sable est limitée au stockage traditionnel en greniers. L'efficacité de ce moyen réside dans le fait qu'il entrave la mobilité des insectes. Au Mexique, les cendres volcaniques du mont Chichonal appliquées au maïs à 1% ont montré un bon contrôle de *P. truncatus* (Sanchez et al., 1989). Les zéolites, autres substances minérales inertes possédant des propriétés physiques semblables à celles des terres

à diatomées ont donné des résultats satisfaisants à des doses de 0,5; 0,75 et 1 g/kg de blé au bout de trois semaines avec *S. oryzae* (L.) (96-98%), *Rhizopertha dominica* (F.) (70-82%) et *T. castaneum* (100%) (Kljajic et al., 2010).

Les terres à diatomées, sont Prises comme méthode environnementale acceptable. Elles ont été les plus étudiées dans le domaine de l'utilisation de substances inertes dans la protection des stocks. Les terres à diatomées sont des dépôts géologiques de diatomites, qui sont des couches sédimentaires fossilisées d'algues microscopiques appelées diatomées. Le constituant majeur de la diatomite est de la silice (SiO₂) avec en plus des quantités variables d'autres minéraux dont l'Aluminium, l'Oxyde de fer, l'Hydroxyde de calcium, le Magnésium et le Sodium(Cissokho et al., 2015).D'après Korunic (2013), L'efficacité insecticide de la terre à diatomées peut varier dans des limites assez larges selon l'origine du dépôt fossile exploité car tous les gisements n'ont pas la même composition.

Les terres à diatomées ont plusieurs avantages sur les denrées stockées à savoir une faible toxicité mammaire; en effet, elles peuvent assurer une protection à long terme contre les insectes ravageurs et peuvent facilement être enlevées de la graine durant le traitement (Athanassiou et al., 2005). Saez et Fuentes (2007) ont montré quant à eux l'importance de l'origine (eau douce ou marine) et du mode d'application des terres à diatomées sur *Cryptolestes ferrugineus*, *R. dominica*, *S. oryzae* et *S. granarius* par une différence d'adhérence des particules(Saez and Mora, 2007).

III.2 Méthodes de lutttes modernes

III.2.1 Méthodes chimiques

La lutte chimique est la méthode la plus utilisée pour lutter contre les ravageurs. La lutte chimique consiste en l'utilisation de produits chimiques appelés pesticides comme les insecticides contre les insectes(Ferrer, 2003). Pour la protection des stocks vivriers et de semences, organochlorés, carbamates, organophosphorés et pyréthriinoïdes de synthèse sont les pesticides les plus fréquemment utilisés(Gueye, 2013). L'utilisation des pesticides même à très faibles doses est souvent associée à des problèmes de santé et d'environnement(Cissokho et al., 2015). Les pesticides sont, de par leur nature, des produits dangereux et toxiques même à très faibles doses(Passos and José, 2006). . La plupart de ces insecticides nécessite des équipements de protection individuelle pour leur application; par conséquent ils doivent être appliqués par des professionnels ou du personnel entraîné et loin des cours d'eau (MINADER, 2013).on peut classer les produits chimiques en deux grandes classe :

Les fumigants : à action immédiate ;

Et les insecticides de contact : persistent sur les denrées et agissent au cours d'une période plus ou moins prolongée.

Les fumigants

Un fumigant est une substance qui, à une température et une pression données, peut être produite sous forme de gaz et se comporter en tant que tel. A ce titre, il peut diffuser et pénétrer à l'intérieur de denrées et s'en échapper ensuite par diffusion (Bond et al., 1990).

Les fumigants les plus utilisés en Afrique sont le bromure de méthyle et l'hydrogène phosphoré (Seck, 1994).

- Le bromure de méthyle

Découvert dans les années 30 (Bond et al., 1990), le bromure de méthyle (CH_3Br) est efficace dans beaucoup de domaines. Ses principales qualités résident dans sa capacité de pénétrer rapidement en profondeur des denrées, même à la pression atmosphérique et de s'en dissiper à l'aération, ce qui limite les risques de manipuler les denrées traitées. Il est généralement conditionné dans des bouteilles en acier de 20 à 40 Kg et parfois sous forme de pots de 0,5 kg destinés aux usages limités. Le bromure de méthyle est très toxique sur l'homme et les insectes, et il agit sur le système nerveux des insectes. Le bromure de méthyle ne laisse généralement pas de résidus dans les denrées. Il peut néanmoins réagir avec les constituants du produit traité et donner des bromures inorganiques heureusement sans risques majeurs sur la santé humaine (Bond et al., 1990).

- L'hydrogène phosphoré

L'hydrogène phosphoré ou phosphine (PH_3) est un fumigant capable de pénétrer rapidement en profondeur d'importantes masses de grains en vrac ou de denrées emballées, grâce à un faible poids moléculaire et un point d'ébullition bas (Dogo, n.d.). L'hydrogène phosphoré varie selon le stade sur les insectes. Les larves et les adultes s'avèrent ainsi plus sensibles que les oeufs et les nymphes (Bell, 1976). Ce problème peut être résolu en prolongeant la durée d'exposition, ce qui permet aux oeufs et aux nymphes d'évoluer vers des stades plus sensibles (Reynolds et al., 1967). L'hydrogène phosphoré est souvent utilisé pour la protection des stocks de céréales et de légumineuses contre les insectes (Seck, 1994). Le PH_3 se libère rapidement de la denrée par aération. Les teneurs résiduelles rencontrées sont généralement inférieures

aux limites de 0,1 et 0,01 mg/Kg, admises respectivement pour les céréales brutes et produits alimentaires usinés. Les fumigants présentent des caractéristiques uniques garantissant un contrôle efficace des insectes là où d'autres méthodes sont inutilisables. Néanmoins, les fumigants présentent certains inconvénients. Ces derniers sont liés d'une part aux nuisances de certains d'entre eux sur la santé humaine, d'autre part à l'absence de rémanence des gaz utilisés. En effet, la fumigation ne protège guère contre une éventuelle ré infestation (Seck, 1994).

Tableau III : Propriétés physiques et chimiques du bromure de méthyle et de l'hydrogène phosphoré

	Bromure de méthyle	Phosphore d'hydrogène
Formule chimique CH ₃ Br PH ₃	CH ₃ Br PH ₃	PH ₃
Point d'ébullition (°C)	3,6 °C	-87, 4
Point de congélation (°C)	-93 °C	-133,5
Poids moléculaire	94,94	34,04
Poids spécifique		
Forme gazeuse (air = 1	3,27 à 0 °C	1,214
Forme liquide (eau à 4 °C = 1)	1,732 à 9 °C	0,746
Chaleur Latente de vap. (cal/g)	61,52	102,6
Solubilité dans l'eau	1,34g/100ml à 25 °C	1 26 cm ³ /199 ml (faible)

Source : (Bond et al., 1990)

Les insecticides de contact

Leur principal avantage en milieu rural réside dans le fait qu'ils demandent peu ou pas de modification des infrastructures de stockage (Hindmarsh et al., 1978). On admet généralement pour les matières actives destinées à la protection des denrées stockées une faible toxicité pour l'homme (de l'ordre de 2000 mg/Kg). Parmi les nombreuses méthodes proposées pour classer les insecticides de contact, l'une des plus simples consiste à les regrouper en fonction de leur persistance d'action. Ainsi, on distingue les produits de choc, les produits à moyenne durée et ceux à longue persistance d'action (SCHIFFERS et al., 1990).

Pour le cas des produits à action de choc, on a ceux à base de dichlorvos ou parfois de pyréthrinés naturels synergisés avec du pipéronyl butoxyde. Ils sont caractérisés par une tension de vapeur élevée, leur permettant de tuer les stades libres d'insectes dans la masse de denrées. Très souvent utilisés dans les transactions internationales, ils ont l'inconvénient d'épargner les formes cachées et ainsi de masquer les infestations latentes.

Pour les produits à moyenne persistance d'action, ils sont à base de combinaisons binaires entre le dichlorvos et des insecticides organophosphorés plus persistants que celui-ci (malathion ; pyrimiphos-méthyl ; chlorpyriphosméthyle)(Dogo, n.d.).

Pour les produits à longue persistance d'action, on a des composés organophosphorés ou pyréthrinoïdes capables d'assurer une protection pendant au moins six mois. Les plus connus sont le pyrimiphos-méthyl, le chlorpyriphosméthyl, la deltaméthrine et le fénitrothion.

Les méthodes chimiques sont plus rapides, moins coûteuses et plus efficaces à la première utilisation, mais elles soulèvent le problème lié à la résistance des insectes face à ces substances chimiques (Delobel and Tran, 1993). La résistance des insectes aux pesticides de synthèse est l'un des principaux méfaits de l'application répétée des produits contre les ravageurs(Gueye et al., 2011). De nombreux cas de résistance sont révélés partout. Actuellement, aucun groupe parmi les organophosphorés, organochlorés, pyréthrinoïdes ou encore fumigants n'échappe à la résistance des insectes. Avec le retrait au niveau mondial du bromure de méthyle en 2015(Bell, 2000), le problème de la fumigation est un des plus préoccupants en Afrique. (Athié et al., 1998) suggèrent la combinaison de la phosphine au dioxyde de carbone (10 à 20 %) pour maîtriser des souches résistantes de *S. oryzae* et de *Rhizopertha dominica* (F.). Ainsi, les mesures d'hygiène, bien que n'ayant que peu d'effet direct, s'avèrent nécessaires pour ralentir le développement de la résistance(Gueye et al., 2011).À cet égard, des alternatives à la lutte chimique ont été développées, pour lutter contre les dégâts des insectes tout en assurant un environnement moins exposé aux pollutions chimiques.

Tableau IV : Insecticides de contacts autorisés pour le traitement des denrées entreposées au Sénégal

Matière active commerciale	Spécialité	Distributeur	Concentration En matière active	Nature de la formulation *	
[BROMOPHOS] Nexion EC 36 Nexion poudre 2 % Nexion WP 25		Calamarck/Rhône-Poulenc Calamarck/Rhône-Poulenc Calamarck	360 g/l 2 % 25 %	CE Liq.pour nébulisation PM	Désinsectisation des stocks de céréales et d'arachide (8 à 12 g/tonne)
[CHLORPYRIPHOS-METHYLE] Reldan		Shell	240 g/l	LP	Désinsectisation des stocks d'arachide (2,5 g/tonne)
[DELTAMETHRINE] K- othrine EC 12,5 K- othrine EC 25 K- othrine 2,5 PM K- othrine 0 ,05 PP		Procida Procida Procida Procida	12,5 g/l 25 g/l 2,5 g/l 0,05 g/l	LP LP PM PP	Désinsectisation des stocks d'arachide, niébé, maïs, sorgho, mil (0,5 à 1 g/tonne)
[DICHLORVOS] Mafu 500 SL Dichlotox 1000 SL Charvos		Bayer Bayer Sipcam France	500 g/l 1000 g/l 500 g/l	CS CS LP	Désinsectisation des grains stockés
[FENTROTHION] Folithion 1 DP Folithion 500 EC Folithion 1000 Sumifène poudre Sumithion CE 60 Sumithion 2 %		Bayer Bayer Bayer Rhône-Poulenc Shell Shell	1 % 500 g/l 1000 g/l 1,5 % 600 g/l 2 %	PP CE CE PP CE PP	Désinsectisation des stocks d'arachide et de céréales
					Désinsectisation des céréales (8 g/tonne)

[MALATHION] malagrain émulsion Malagrain poudrage Zithiol Foudre	Procida Procida Rhône-Poulenc	500 g/l 2 % 2 %	CE PP PP	Désinsectisation des grains stockés (4 g/tonne)
[PYRIMPHOS-METHYLE] Actellic 2 PP Actellic 25 PM Actellic 50 EC	ICI/SOFACO Procida ICI/SOFACO Procida ICI/SOFACO Procida	2 % 25 % 500 g/l	PP PM CE	

Source : (Direction de la protection des végétaux du Sénégal ,cité par (Seck, 1994))

III.2.2 Méthodes physiques

Face aux nuisances de la lutte chimique nonobstant les succès enregistrés, il a été développé plusieurs autres formes de lutte contre les insectes(Gueye et al., 2011).

C'est le cas de la lutte physique, qui signifie l'élimination du ravageur ou la détérioration physique de l'environnement de manière à le rendre inhospitalier ou inaccessible pour le ravageur (Kumar, 1991).

L'irradiation

Il s'agit, par divers procédés, de jouer sur la sensibilité des ravageurs aux radiations, aux températures extrêmes et à la concentration de l'atmosphère des infrastructures de stockage en gaz (oxygène, dioxyde de carbone)(Dogo, n.d.). Malgré le fait que cette lutte ne présente pas de danger considérable pour les consommateurs, elle est très peu adoptée par les céréaliculteurs à cause de son coût élevé, sa complexité et son impact sur les propriétés organoleptiques des céréales(Nanfack et al., 2015). C'est une pratique effectuée le plus souvent avant emmagasinage des récoltes. Elle permet d'achever le séchage et de faire fuir les insectes grâce à la chaleur et à l'incidence directe des rayons (Gueye et al., 2011).

L'enfumage

Elle est pratiquée surtout dans les milieux ruraux. Ainsi les céréales sont suspendues au-dessus du foyer dont la fumée et la chaleur éloignent ces déprédateurs(Nanfack et al., 2015). Dans le cas des semences, essentiellement de mil et de maïs, les épis sont suspendus au-dessus du foyer, lui conférant une immunité contre les insectes grâce à la chaleur et à la fumée. L'accumulation potentielle de substances délétères issues des fumées n'a pas non plus fait l'objet d'une attention ou de recherches particulières(Gueye et al., 2011).

III.2.3 Méthodes biologiques

Cette méthode entre dans la conservation de la faune et de la flore. Ce mode de lutte s'articule dans la majeure partie des cas sur l'utilisation de parasitoïdes, parasites et prédateurs(Gueye et al., 2011). Elle consiste à combattre les insectes ravageurs en utilisant leurs ennemis naturels dont les parasitoïdes, les bactéries, les virus, les champignons, les protozoaires, les nématodes(Kumar, 1991). Des micro-organismes entomopathogènes, bactéries, champignons, nématodes, protozoaires et virus ont intéressé les chercheurs dans la lutte biologique(Gueye et al., 2011).

Actuellement, la lutte biologique est la méthode la plus favorisée dans les programmes de recherche vus ses intérêts économiques et agro-environnementaux qui permettent le maintien d'un équilibre bioécologique (Amari .Nadia & al. 2014).

Dans le cas du maïs, une expérimentation conduite au Bénin en laboratoire et dans les champs a révélé les possibilités d'utilisation d'isolat de conidies de *Beauveria bassina* contre *P. truncatus*. L'efficacité d'un tel traitement sur la densité de *P. truncatus* proviendrait d'une forte mortalité au niveau larvaire (Meikle et al., 2001). De par sa non dangerosité pour le consommateur et sa spécificité aux espèces visées, la lutte biologique gagnerait à être vulgarisée et implémentée au Cameroun. Cependant, elle nécessite une parfaite connaissance de la biologie et l'écologie du ravageur et son ennemi naturel ainsi que leur comportement en absence de l'espèce visée. Certains ennemis naturels ne s'attaquent également qu'à des stades précis de développement(Nanfack et al., 2015).

Malgré les chances de succès, le constat est que la lutte biologique tarde à prendre son essor dans beaucoup de pays ouest-africains. Certains facteurs concourent à limiter l'emploi de techniques assez exigeantes voire sophistiquées dans les zones rurales africaines particulièrement concernées par les pertes post-récolte(Gueye et al., 2011).

La lutte contre les insectes ravageurs a toujours été un challenge important partout dans le monde. Les pesticides qui entraînent des risques graves pour la santé humaine, l'environnement et la biodiversité ont connu une ascension fulgurante.la lutte biologique quant à elle, ne pollue pas l'environnement et ne représente aucune menace pour la santé humaine.

Conclusion et perspectives

Les recherches obtenues sur ce thème nous ont permis de connaître l'origine, la taxonomie et la morphologie de ces coléoptères ravageurs, mais aussi de comprendre les attaques faites par ces ravageurs sur les céréales stockées. Au cours du stockage d'immenses quantités de céréales sont perdues en raison des attaques des insectes ravageurs d'où une perte quantitative qui s'explique par une diminution du poids et une perte qualitative qui déprécie la valeur nutritionnelle de ces céréales. De telles pertes peuvent entraîner des pénuries alimentaires sérieuses. Il est donc nécessaire de connaître la bio-écologie de chacune de ces insectes ravageurs afin de voir comment les éliminer. L'un des facteurs clés de la sécurité alimentaire demeure une bonne conservation des stockages. Par conséquent, une stratégie phytosanitaire à même de contenir les ravageurs à des niveaux inférieurs au seuil de nuisibilité économique est très importante.

L'objectif de ce travail est de connaître la bio-écologie des coléoptères ravageurs de céréales et de chercher les méthodes fiables pour la lutte contre ces ravageurs. Le choix le plus spontané est les pesticides du fait de leur accessibilité. Toutefois le choix de l'insecticide repose sur l'insecte majeur à lutter. Néanmoins, il existe d'autres méthodes présentées comme alternatives aux pesticides ayant chacune des avantages, mais aussi quelques limites comme les méthodes biologique, chimique et physique ; toutefois elles ne sont pas garanties à 100%. Dans cette lutte destinée aux paysans dont la plupart en Afrique sont illettrés ou à faible niveau d'éducation, il est impératif de tenir compte des choix des méthodes proposées. En effet, les cadres de vie en milieu rural souvent rudimentaires rendent complexe la mise en pratique de certaines méthodes. Il serait donc intéressant d'approfondir les investigations sur les différentes méthodes pour assurer une lutte raisonnée et efficace contre les ravageurs des denrées alimentaires stockées.

Références bibliographiques

1. Abdou, M.M., Mayaki, Z.A., Lamso, N.D., Seybou, D.E., Ambouta, J.M.K., 2014. Productivité de la culture du sorgho (*Sorghum bicolor*) dans un système agroforestier à base d'*Acacia senegal* (L.) Willd. Au Niger. *J. Appl. Biosci.* 82, 7339–7346. <https://doi.org/10.4314/jab.v82i1.2>
2. Antoine, W., Traore, F., Sankara, F., Dabire-Binso, C., Sanon, A., 2018. Evaluation du potentiel de développement de *Rhyzopertha dominica* F. (Coleoptera : Bostrichidae) sur deux variétés locales de sorgho (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) du Burkina Faso. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 12, 2143–2151. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v12i5.16>
3. Arab, R., 2018. Effet insecticide des plantes melia azedarach L. et peganum harmala L. sur l'insecte des céréales stockées *tribolium castaneum* herbst : Coleoptera, tenebrionidae (Thesis).
4. Athié, I., Gomes, R.A.R., Bolonhezi, S., Valentini, S.R.T., De Castro, M.F.P.M., 1998. Effects of carbon dioxide and phosphine mixtures on resistant populations of stored-grain insects. *J. Stored Prod. Res.* 34, 27–32. [https://doi.org/10.1016/S0022-474X\(97\)00026-X](https://doi.org/10.1016/S0022-474X(97)00026-X)
5. Bell, C.H., 2000. Fumigation in the 21st century. *Crop Prot.* 19, 563–569. [https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(00\)00073-9](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(00)00073-9)
6. Bell, C.H., 1976. The tolerance of developmental stages of four stored product moths to phosphine. *J. Stored Prod. Res.* 12, 77–86. [https://doi.org/10.1016/0022-474X\(76\)90027-8](https://doi.org/10.1016/0022-474X(76)90027-8)
7. Bond, E.J., Bond, E.J.A. du texte, texte, O. des N.U. pour l'alimentation et l'agriculture A. du, 1990. La fumigation en tant que traitement insecticide / Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture ; par E.J. Bond,... [WWW Document]. URL <http://catalogue.bnf.fr> (accessed 1.14.21).
8. Bonneton, F., 2010. Quand *Tribolium* complémente la génétique de la drosophile. *médecine/sciences* 26, 297–304. <https://doi.org/10.1051/medsci/2010263297>
9. Bouchard, P., Bousquet, Y., Davies, A., Alonso-Zarazaga, M., Alonso-Zarazaga, M., Lawrence, J., Lyal, C., Newton, A., Reid, C., Schmitt, M., Slipinski, A., Smith, A., 2011. Family-Group Names In Coleoptera (Insecta). *ZooKeys* 88, 1–972. <https://doi.org/10.3897/zookeys.88.807>
10. Camara, A., 2009. Lutte contre *Sitophilus oryzae* L. (Coleoptera: Curculionidae) et *Tribolium castaneum* Herbst (Coleoptera: Tenebrionidae) dans les stocks de riz par la

technique d'étuvage traditionnelle pratiquée en Basse-Guinée et l'utilisation des huiles essentielles végétales.

11. céréales, P., 2018. Le maïs [WWW Document]. Passion Cérééal. URL <https://www.passioncereales.fr/dossier-thematique/le-ma%C3%AFs> (accessed 1.8.21).
12. Cissokho, P.S., Gueye, M.T., Sow, E.H., Diarra, K., 2015. Substances inertes et plantes à effet insecticide utilisées dans la lutte contre les insectes ravageurs des céréales et légumineuses au Sénégal et en Afrique de l'Ouest. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 9, 1644–1653. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v9i3.43>
13. Cruz, J.F., Troude, F., Griffon, D., Hebert, J.P., 1988. Conservation des grains en regions chaudes. Ministere de la cooperation et du Developpement, Paris.
14. Delobel, A., Tran, M., 1993. Les Coléoptères des denrées alimentaires entreposées dans les régions chaudes, Faune Tropicale. ORSTOM, Paris.
15. Delobel, A., Tran, M., 1933. Les Coléoptères des denrées alimentaires entreposées dans les régions chaudes [WWW Document]. undefined. URL </paper/Les-Col%C3%A9opt%C3%A8res-des-dendr%C3%A9es-alimentaires-dans-les-Delobel-Tran/b062e35ffde8e8165f3f6909d71495f8dcd005a8> (accessed 1.18.21).
16. Derradji-Heffaf, F., 2013. Composition chimique et activité insecticide de trois extraits végétaux à l'égard de *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera: Curculionidae). (Thesis).
17. Dia, C.A.K.M., 2019. Caractérisation morphogénétique des populations Ouest-africaines de *Tribolium castaneum* Herbst, ravageur des céréales stockées : différenciation en races hôtes et écotypes.
18. Dogo, S., n.d. Notes de cours.
19. Ebeling, W., 1971. Sorptive Dusts for Pest Control. *Annu. Rev. Entomol.* 16, 123–158. <https://doi.org/10.1146/annurev.en.16.010171.001011>
20. Fall, R., Cisse, M., Sarr, F., Brabet, C., Dieme, E., 2020. Pratiques culturelles et gestion post-récolte du sorgho au Sénégal. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 14, 1001–1013. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v14i3.27>
21. Farrell, G., Schulten, G.G.M., 2002. Larger Grain Borer in Africa; A History of Efforts to Limit its Impact. *Integr. Pest Manag. Rev.* 2, 67–84. <https://doi.org/10.1023/A:1026345131876>
22. Ferrer, A., 2003. [Pesticide poisoning]. *An. Sist. Sanit. Navar.* 26 Suppl 1, 155–171.
23. Garcia, D., n.d. Les structures de conservation des céréales en méditerranée nord-occidentale au premier millénaire avant J.-C.: innovations techniques et rôle économique.

24. Guèye, A., Diome, T., Thiaw, C., Ndong, A., Gueye, 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 J. Exp. Biol.* 2, 108–117.
25. Gueye, A.C., Diome, T., Thiaw, C., Sembene, M., 2015. 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.). *J. Appl. Biosci.* 90, 8361–8376. <https://doi.org/10.4314/jab.v90i1.8>
26. Gueye, M., Goergen, G., Badiane, D., Hell, K., 2008. First report on occurrence of the larger grain borer *Prostephanus truncatus* (Horn) (Coleoptera: Bostrichidae) in Senegal. *Afr. Entomol.* 16, 309–311. <https://doi.org/10.4001/1021-3589-16.2.309>
27. Gueye, M., Seck, D., Wathélet, J., Lognay, G., 2011. Lutte contre les ravageurs des stocks de céréales et de légumineuses au Sénégal et en Afrique occidentale : synthèse bibliographique. *Biotechnol. Agron. Société Environ.* 15.
28. Gueye, M.T., 2013. Gestion intégrée des ravageurs de céréales et de légumineuses stockées au Sénégal par l'utilisation de substances issues de plantes. Université de Liège, Gembloux, Belgique.
29. Habiba, K., Haubruge, E., Noudjou, F., Lognay, G., Malaisse, F., Martin, N., Goudoum, A., Mapongmetsem, P., Ngamo, L., Hance, T., 2005. Potential use of essential oils from Cameroon applied as fumigant or contact insecticides against *Sitophilus zeamais* Motsch. (Coleoptera: Curculionidae). *Commun. Agric. Appl. Biol. Sci.* 70, 787–92.
30. Hill, M.G., Borgemeister, C., Nansen, C., 2002. Ecological Studies on the Larger Grain Borer, *Prostephanustruncatus* (Horn) (Col.: Bostrichidae) and their Implications for Integrated Pest Management. *Integr. Pest Manag. Rev.* 7, 201–221. <https://doi.org/10.1023/B:IPMR.0000040818.40801.25>
31. Hindmarsh, P.S., Tyler, P.S., Webley, D.J., 1978. Conserving grain on the small farm in the tropics. *Trop. Sci.* 20, 117–128.
32. Institut des Sciences Halieutiques, Université de Douala, BP 7236, Douala - Cameroun, Raoul, T.B., Ngamo Tinkeu, L., Unité de Recherche Entomologique, Laboratoire d'Entomologie Appliquée, Département des Sciences Biologiques, Faculté des Sciences, Université de Ngaoundéré, BP 454, Ngaoundéré - Cameroun, 2018. Potentialisation de l'efficacité insecticide des poudres de feuilles ou amandes de neemier *Azadirachta indica* A. juss par formulation avec la cendre de tiges de mil contre *Sitophilus zeamais* motsch. et *Sitophilus oryzae* L. (Coleoptera : curculionidae).

- Afr. J. FOOD Agric. Nutr. Dev. 18, 13254–13270.
<https://doi.org/10.18697/ajfand.81.17095>
33. Jacob, L., Charles, N., Fokunang, C., Elias, N., Nukenine, E., 2014. Potentials of Fractionated Extracts of *Ocimum canum* (Lamiaceae) and *Laggera pterodonta* (Compositae) for the Protection of Maize against the Infestation of *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.15879.50083>
 34. Kadri, boubacar K., Halilou, H., Karimou, I., 2019. Culture du mil [*Pennisetum glaucum* (L) R. Br] et ses contraintes à la production: une revue. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 13, 503–524. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v13i1.40>
 35. Knorr, E., Bingsohn, L., Kanost, M.R., Vilcinskas, A., 2013. *Tribolium castaneum* as a model for high-throughput RNAi screening. *Adv. Biochem. Eng. Biotechnol.* 136, 163–178. https://doi.org/10.1007/10_2013_208
 36. Kumar, R., 1991. La lutte contre les insectes ravageurs: la situation de l'agriculture africaine. KARTHALA Editions.
 37. lavoixdelavallee, P. par, 2019. La culture du mil et du sorgho, les valeurs sûres de l'agriculture au Sénégal. VOIX Val. URL <https://lavoixdelavallee.wordpress.com/2019/08/01/la-culture-du-mil-et-du-sorgho-les-valeurs-sures-de-lagriculture-au-senegal/> (accessed 1.26.21).
 38. Liao, M., Shi, S., Wu, H., Yang, Q., Zhu, Z., Xiao, J., Huang, Y., Cao, H., 2020. Effects of terpinen-4-ol fumigation on protein levels of detoxification enzymes in *Tribolium confusum*. *Arch. Insect Biochem. Physiol.* 103, e21653. <https://doi.org/10.1002/arch.21653>
 39. Mamdouh, B.H., n.d. Intitulé : Contribution à l'étude des coléoptères impliqués dans la décomposition de substrats de petites tailles. Cas particulier *Dermestes peruvianus* (Laporte de Castelnau, 1840) (Insecta, Coleoptera). 65.
 40. Martin, N., Ngamo, L., Maponmetsem, P.M., Jirovetz, L., Buchbauer, G., 2003. Investigations of medicinal aromatic plants from Cameroon: GC/Fid, GC/MS and olfactoric analyses of essential oils of *Ocimum suave* Willd. (Lamiaceae) 45, 69–75.
 41. Meikle, W.G., Cherry, A.J., Holst, N., Hounna, B., Markham, R.H., 2001. The Effects of an Entomopathogenic Fungus, *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin (Hyphomycetes), on *Prostephanus truncatus* (Horn) (Col.: Bostrichidae), *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Col.: Curculionidae), and Grain Losses in Stored Maize in the Benin Republic. *J. Invertebr. Pathol.* 77, 198–205. <https://doi.org/10.1006/jipa.2001.5015>

42. Mohammed, 2008. LES HUILES ESSENTIELLES EXTRAITES DES PLANTES MEDICINALES MAROCAINES : MOYEN EFFICACE DE LUTTE CONTRE LES RAVAGEURS DES DENREES ALIMENTAIRES STOCKEES [WWW Document]. undefined. URL /paper/LES-HUILES-ESSENTIELLES-EXTRAITES-DES-PLANTES-%3A-DE-Mohammed/fa4cdbc2d407fca50e962f52a2db5d9a88ae19e0 (accessed 1.20.21).
43. Nanfack, F.M., Dongmo, Y.Z., Fogang, M. a. R., 2015. Les insectes impliqués dans les pertes post-récoltent des céréales au Cameroun : méthodes actuelles de lutte et perspectives offertes par la transgénèse. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 9, 1630–1643. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v9i3.42>
44. NDIAYE, M.R., 2018a. Evolution phylogéographique et structure génétique des populations de *Sitophilus zeamais* (Coleoptera, Curculionidae), ravageur du maïs stocké en Afrique de l’Ouest (Theses). Université Cheikh Anta DIOP de Dakar, Sénégal ; Faculté des Sciences et Techniques ; Département de Biologie Animale.
45. NDIAYE, M.R., 2018b. Evolution phylogéographique et structure génétique des populations de *Sitophilus zeamais* (Coleoptera, Curculionidae), ravageur du maïs stocké en Afrique de l’Ouest (Theses). Université Cheikh Anta DIOP de Dakar, Sénégal ; Faculté des Sciences et Techniques ; Département de Biologie Animale.
46. Ndong, A., Thiaw, C., Diome, T., Ndiaye, M.R., Kane, M., Sembene, M., 2015. Diversity and Genetic Structure of *Sitophilus* Spp. Haplotypes, Primary Pest of Stored Maize in Senegal and Guinea: Genetic Impact of Storage Infrastructure and Agro-Climatic Zones. *Internasyonel J. Res. Stud. Biosci.* 3–1.
47. Nestor René, A.A., 2018. Acceptabilité des structures améliorées de stockage du maïs au Sud-Bénin.
48. Obata, H., Manabe, A., Nakamura, N., Onishi, T., Senba, Y., 2011. A new light on the evolution and propagation of prehistoric grain pests: the world’s oldest maize weevils found in Jomon Potteries, Japan. *PloS One* 6, e14785. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0014785>
49. Ogendo, J.O., Deng, A.L., Belmain, S.R., Walker, D.J., Musandu, A. a. O., 2004. Effect of Insecticidal Plant Materials, *Lantana camara* L. and *Tephrosia vogelii* Hook, on the Quality Parameters of Stored Maize Grains. *J. Food Technol. Afr.* 9, 29–35. <https://doi.org/10.4314/jfta.v9i1.19323>
50. Ogendo, Prof.J.O., Kostyukovsky, M., Ravid, U., Matasyoh, J., Deng, A., Omolo, E.O., Kariuki, S.T., Shaaya, E., 2008. Bioactivity of *Ocimum gratissimum* L. oil and two of

- its constituents against five insect pests attacking stored food products. *J. Stored Prod. Res.* 44, 328–334. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2008.02.009>
51. Okram, S., Hath, T., 2020. Effect of Milling Methods on the Infestation of *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera: Curculionidae) on Stored Rice Grains in Terai Agro-Ecology of West Bengal. *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.* 9, 880–886. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.908.095>
 52. Ould Arab, L., Talbi, F., 2017. Etude de la rémanence de l'action de l'huile d'olive et de l'acide oléique comme bio insecticide à l'égard du petit capucin des grains, *Rhyzopertha dominica* F. (Coleoptera- Bostrychidae) (Thesis). Université Mouloud Mammeri.
 53. PARTIE I Structures de stockage. Président de séance : M. GILLIQUET - PDF Free Download [WWW Document], n.d. URL <https://docplayer.fr/17980094-Partie-i-structures-de-stockage-president-de-seance-m-gilliquet.html> (accessed 1.24.21).
 54. Passos, S., José, C., 2006. Exposition humaine aux pesticides : un facteur de risque pour le suicide au Brésil? *Vertigo - Rev. Électronique En Sci. Environ.* <https://doi.org/10.4000/vertigo.2098>
 55. Reynolds, E.M., Robinson, J.M., Howells, C., 1967. The effect on *Sitophilus granarius* (L.) (Coleoptera, Curculionidae) of exposure to low concentrations of phosphine. *J. Stored Prod. Res.* 2, 177–186. [https://doi.org/10.1016/0022-474X\(67\)90066-5](https://doi.org/10.1016/0022-474X(67)90066-5)
 56. Rösner, J., Wellmeyer, B., Merzendorfer, H., 2020. *Tribolium castaneum*: A Model for Investigating the Mode of Action of Insecticides and Mechanisms of Resistance. *Curr. Pharm. Des.* 26, 3554–3568. <https://doi.org/10.2174/1381612826666200513113140>
 57. RUSSELL, M., 1968. Influence of Rice Variety on Oviposition and Development of the Rice Weevil, *Sitophilus oryzae*, and the Maize Weevil, *S. zeamais*. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 61, 1335–1336. <https://doi.org/10.1093/aesa/61.5.1335>
 58. Saez, A., Mora, V., 2007. Comparison of the desiccation effects of marine and freshwater diatomaceous earths on insects. *J. Stored Prod. Res.* 43, 404–409. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2006.11.002>
 59. Schmidt, U., 2004. *Rhyzopertha dominica* Fabricius, 1792.
 60. Seck, D., 1994. Développement de méthodes alternatives de contrôle des principaux insectes ravageurs des denrées emmagasinées au Sénégal par l'utilisation de plantes indigènes. Faculté des Sciences Agronomiques.
 61. Seye, C.A.T., Faye, E., Thiam, A., Matty, F., Sambou, B., 2018. Effet d'un dispositif biomécanique sur la récupération des sols salés et la culture du riz dans le bassin

- fluvio-marin du Sine-Saloum à Ndoff (Sénégal). *J. Appl. Biosci.* 130, 13162–13174. <https://doi.org/10.4314/jab.v130i1.4>
62. *Sitophilus oryzae* (Linnaeus, 1763) [WWW Document], n.d. . Inventaire Natl. Patrim. Nat. URL https://inpn.mnhn.fr/espece/cd_nom/15551 (accessed 1.25.21).
63. Sreeramoju, P., M.s.k, P., Lakshmipathi, 2016. Complete Study of Life Cycle of *Tribolium Castaneum* and its Weight Variations in the Developing Stages [WWW Document]. undefined. URL </paper/Complete-Study-of-Life-Cycle-of-Tribolium-Castaneum-Sreeramoju-M.S.K./f8f395b57b2e4a79adbd9302b126e43f212f6325> (accessed 1.25.21).
64. Vásquez-Castro, J.A., Baptista, G.C.D., Trevizan, L.R.P., Gadanha Jr, C.D., 2009. Flight activity of *Sitophilus oryzae* (L) and *Sitophilus zeamais* Motsch (Coleoptera: Curculionidae) and its relationship with susceptibility to insecticides. *Neotrop. Entomol.* 38, 405–409. <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2009000300017>
65. Webmaster, n.d. Manuel de stockage et conservation céréales et oléagineux [WWW Document]. URL <https://www.agriculture-afrique.com/manuel-de-stockage-et-de-conservation-des-cereales-et-des-oleagineux/> (accessed 1.23.21).

Titre : Coléoptères ravageurs des stocks de céréales au Sénégal : bio-écologie et méthodes de lutte.

Nom et prénom du candidat : **Nadjima Mohamed**

Nature du document : Mémoire de Master en Biologie Animale/entomologie

Résumé :

Les céréales constituent la base de l'alimentation de la population sénégalaise. Elles représentent plus de 50% de la consommation alimentaire de ce pays en voie de développement. Le stockage de céréales est en difficulté en raison de nombreux contraintes parmi lesquelles la protection de ces céréales dans les endroits de stockage demeure la plus importante. Notre recherche porte sur les principaux coléoptères ravageurs de stocks de céréales. L'objectif de ce travail est de connaître l'origine et la morphologie de ces insectes coléoptères afin de les identifier et de pouvoir étudier leur bio-écologie. L'étude de cette dernière, nous permettra de discerner comment l'insecte se multiplie, s'adapte et se nourrit mais aussi nous permettra de voir comment faire pour lutter contre ces ravageurs. Les pertes causées par ces coléoptères ravageurs sont très importantes et on peut dire que le stockage de céréales est en régression. Afin de lutter contre cette régression plusieurs méthodes de lutte contre ces coléoptères ravageurs ont vu le jour, à savoir : les méthodes traditionnelles comme l'exposition au soleil, l'utilisation des plantes insecticides ; et les méthodes modernes comme l'utilisation des substances chimique (pesticides), l'enfumage, les métiers inertes, les parasitoïdes. Toutefois ces méthodes ne sont pas garanties à 100%.

Mots clés : céréales, stockage, ravageurs, coléoptères, bio-écologie, lutte

Abstract:

Cereals are the basis of food for the people of Senegal. They account for more than 50% of the food consumption of this developing country. The storage of cereals is in difficulty because of many constraints, among which the protection of these cereals in storages places remains the most important. Our research focuses on the major beetles pesting cereal stocks. The aim of this work is to know the origin and morphology of these beetles in order to identify them and to be able to study their bio-ecology. The study of the latter will allow us to discern how the insect multiplies, adapts and feeds, but will also allow us to see how to combat these pests. The losses caused by these pest beetles are very high, and grain storage may be said to be declining. In order to combat this regression, several methods of control against these beetles pest have emerged, namely: traditional methods such as exposure to the sun, the use of insecticidal plants; and modern methods such as the use of chemical substances (pesticides), smoking, inert looms, parasitoids. However, these methods are not 100% guaranteed.

Keywords: *cereals, storage, pests, beetles, bio-ecology, pest control*