

UNIVERSITÉ OUAGA I
Pr Joseph Ki ZERBO

École Doctorale
Sciences et Technologies

Laboratoire d'Entomologie



N° d'ordre : 410

Thèse Présentée

Par Antoine WAONGO

Pour obtenir le grade de

Docteur de l'Université Ouaga I Pr Joseph Ki ZERBO

**INSECTES RAVAGEURS DES STOCKS DE SORGHO (*SORGHUM BICOLOR*
[L.] MOENCH) EN ZONE NORD-SOUDANIENNE DU BURKINA FASO :
BIOECOLOGIE ET STRATEGIES DE LUTTE CONTRE *RHYZOPERTHA*
DOMINICA F. (COLEOPTERA : BOSTRICHIDAE)**

Soutenue le **samedi 26 Mars 2016**, devant le jury composé de :

Président : Wendengoudi GUENDA, Professeur titulaire, Université Ouaga 1 Pr Joseph KI ZERBO

Membres :

Mbacké SEMBENE, Professeur titulaire, UCAD, Dakar Sénégal (Rapporteur)

Antoine SANON, Professeur titulaire, Université Ouaga 1 Pr Joseph KI ZERBO (Directeur de thèse)

Ali DOUMMA, Maître de Conférences, Université Abdou Moumouni (Rapporteur)

Clémentine DABIRE/BINSO, Maître de Recherches, INERA/CNRST (Co-directrice de thèse)

Malick Niango BA, Maître de Recherches, ICRISAT Niamey (Examinateur)

TABLE DES MATIERES

DÉDICACE.....	iv
REMERCIEMENTS.....	i
LISTE DES FIGURES.....	iv
LISTE DES TABLEAUX.....	vi
LISTE DES PLANCHES.....	vii
LISTE DES PHOTOS.....	viii
SIGLES ET ABREVIATIONS.....	ix
RESUME.....	x
INTRODUCTION GENERALE.....	1
Chapitre I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE.....	7
1.1. Le sorgho (<i>Sorghum bicolor</i> [L.] Moench).....	7
1.1.1 – Origine et distribution.....	7
1.1.2 – Description.....	7
1.1.3 - Taxonomie.....	10
1.1.4 - Importance du sorgho.....	13
1.1.4.1 – Production du sorgho dans le monde et au Burkina Faso.....	13
1.1.4.2 – Importance nutritionnelle du sorgho.....	15
1.1.4.3 – Utilisation du sorgho.....	16
1.1.5 - Les principaux insectes ravageurs du sorgho.....	17
1.1.5.1 - Les insectes ravageurs du sorgho en culture.....	17
1.1.5.2. Les insectes ravageurs du sorgho en stockage.....	18
1.2. Le petit capucin des grains, <i>Rhizopertha dominica</i> (Fabricius, 1792).....	19
1.2.1 – Origine et distribution.....	19
1.2.2 - Description morphologique et position systématique de <i>R. dominica</i> F.....	20
1.2.2.1 - Description morphologique.....	20
1.2.2.2 - Position systématique.....	21
1.2.3 - Biologie.....	22
1.2.3.1 – L’activité de ponte.....	22
1.2.3.2 - Le développement embryonnaire et larvaire.....	23
1.2.3.3 – Cycle de développement et morphologie des stades immatures.....	24
1.2.3.3.1 - Œuf.....	24
1.2.3.3.2 - Larves.....	25
1.2.3.3.3 - Nymphe.....	27
1.2.4 - Nature des dégâts et importance économique.....	28
1.2.5 - Les méthodes de contrôle des populations de <i>R. dominica</i>	29
1.2.5.1 - La lutte traditionnelle.....	29
a) Mesures préventives avant la récolte.....	29
b) Addition aux denrées stockées de différentes substances.....	29
c) Procédés mécaniques et physiques.....	30
1.2.5.2 – La résistance variétale.....	30
1.2.5.3 - La lutte chimique.....	31
1.2.5.4 - Le stockage hermétique.....	31

Chapitre II : MATÉRIEL ET MÉTHODES	33
2.1. Caractéristiques de la zone d'étude en milieu paysan	33
2.2. Matériel et Méthodes	35
2.2.1 – Matériel	35
2.2.1.1 - Matériel animal	35
2.2.1.2 - Matériel végétal	35
2.2.1.3 - Matériel expérimental	37
2.2.2 – Méthodes	40
2.2.2.1- Conditions d'étude au laboratoire.....	40
2.2.2.2 - Elevage de masse de <i>R. dominica</i> au laboratoire.....	40
Chapitre III : INVENTAIRE ET DIVERSITÉ DES INSECTES RAVAGEURS DES STOCKS DE SORGHO EN ZONE NORD SOUDANIENNE DU BURKINA FASO.....	41
3.1. Introduction	41
3.2. Méthodologie	42
3.2.1. Choix des villages et des producteurs	42
3.2.2. Méthodes de conservation des grains de sorgho	43
3.2.3. Echantillonnage.....	44
3.2.4. Analyse et suivi des échantillons	44
3.2.5 - Traitements et analyses statistiques des données	45
3.3. Résultats.....	48
3.3.1. Inventaire des insectes ravageurs dans les stocks de sorgho	48
3.3.2. Analyse de l'effort d'échantillonnage	52
3.3.3. Indice d'occurrence et les fluctuations temporelles du peuplement d'insectes ravageurs	52
3.3.4. Impact de la couleur des grains et du type de structure de stockage sur le peuplement d'insectes ravageurs des stocks de sorgho	54
3.3.5. Structure du peuplement des insectes ravageurs des stocks de sorgho.....	56
3.4. Discussion.....	58
3.5. Conclusion partielle	62
Chapitre IV : ETUDE DE QUELQUES ASPECTS DE LA BIOLOGIE ET DE L'ÉCOLOGIE DE <i>R. DOMINICA</i>	63
4.1. Introduction	63
4.2. Méthodologie	64
4.2.1. Pratiques paysannes post récolte et conditions d'infestation initiale des grains de sorgho par <i>R. dominica</i> F.	64
4.2.2. Durée de développement, poids moyen d'un individu de la première génération (F1) et sex-ratio de <i>R. dominica</i>	65
4.2.3. Fécondité et longévité des adultes de <i>R. dominica</i>	66
4.2.4. Taux d'accroissement de la population de <i>R. dominica</i>	66
4.2.5. Analyses statistiques	67
4.3. Résultats.....	68
4.3.1. Pratiques paysannes depuis la récolte jusqu'à la mise en stock.....	68
4.3.2. Condition d'infestation initiale du sorgho par <i>R. dominica</i> F.....	68
4.3.3. Durée de développement.....	69

4.3.3. Sex-ratio.....	70
4.3.4. Fécondité.....	70
4.3.5. Longévité des adultes.....	71
4.3.6. Taux d'accroissement de la population de <i>R. dominica</i>	71
4.4. Discussion.....	72
4.5. Conclusion partielle.....	74
Chapitre V : EVALUATION DE DEUX COMPOSANTES DE LA LUTTE INTEGREE CONTRE <i>R. DOMINICA</i> : RESISTANCE VARIETALE ET STOCKAGE HERMETIQUE	75
5.1. Introduction.....	75
5.2. Méthodologie.....	76
5.2.1. Criblage variétal.....	76
5.2.1.1. Effet des variétés sur la durée de développement de <i>R. dominica</i>	76
5.2.1.2. Test de sensibilité des variétés de sorgho vis-à-vis de <i>R. dominica</i>	77
5.2.2. Tests d'efficacité des sachets de 80µm sur <i>R. dominica</i>	78
5.2.2.1. Effet des sachets de 80µm sur la survie des adultes.....	78
5.2.2.3. Effet des sachets de 80µm sur les stades intermédiaires (larves) de <i>R. dominica</i>	80
5.2.2.2. Effet des sachets de 80µm sur l'accroissement de <i>R. dominica</i>	81
5.2.3. Analyses statistiques.....	82
5.3. Résultats.....	82
5.3.1. Criblage variétal.....	82
5.3.1.1. Effet des variétés sur la durée de développement de <i>R. dominica</i>	82
5.3.1.2. Effet des variétés sur l'accroissement de la population de <i>R. dominica</i>	83
5.3.1.3. Effet des variétés sur la mortalité des adultes de <i>R. dominica</i>	84
5.3.1.4. Impact de <i>R. dominica</i> sur la qualité des grains de sorgho.....	85
5.3.1.5. Sensibilité des variétés aux attaques de <i>R. dominica</i>	87
5.3.2. Effet des sachets de 80µm sur <i>R. dominica</i> F.....	88
5.3.2.1. Effet des sachets de 80µm sur la mortalité des adultes de <i>R. dominica</i>	88
5.3.2.2. Effet des sachets de 80µm sur l'activité alimentaire des adultes de <i>R. dominica</i>	89
5.3.2.3. Effet des sachets de 80µm sur les stades intermédiaires (larves) de <i>R. dominica</i>	90
5.3.2.4. Effet des sachets de 80µm sur la dynamique de population de <i>R. dominica</i>	91
5.4. Discussion.....	92
5.5. Conclusion partielle.....	95
CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES.....	96
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	99
Annexes.....	120
Articles publiés.....	120

DÉDICACE

À la mémoire de mon Papa, WAONGO Bildaogo Gilbert.

À ma maman, KOUDA Kobo Madelène, pour toutes ces années de sacrifices et surtout pour ton amour maternel Ouh Maman, On y est !

À mes sœurs (Antoinette et Clémence) et frères (Pascal, Clément).

À mon tonton, OUEDA Moryamba et ma tante, WANGO Touwendsida.

À mon grand ami, cousin et frère, Dr Adama OUEDA.

À mon enfant Bawayya Ethan Farel et sa maman, mon amour, GUEL Eli Colette.

Au Saint Esprit, à l'Amour et à la Paix dans le Monde !

REMERCIEMENTS

Ce travail résulte d'une collaboration entre le Laboratoire d'Entomologie Fondamentale et Appliquée (LEFA) et le Laboratoire Central d'Entomologie Agricole de Kamboinsé (LCEA-K) appartenant respectivement à l'Université Ouaga 1 Pr Joseph KI ZERBO et à l'Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA).

C'est aussi le fruit des efforts multiples et multiformes de plusieurs personnes sans lesquelles il n'aurait pu aboutir. Qu'il me soit permis de les remercier.

Je voudrais ainsi dire merci :

À mon directeur de thèse, Pr Antoine SANON, Professeur titulaire à l'UFR/SVT de l'Université Ouaga I Pr Joseph KIZERBO. Vous m'avez inculqué la passion de la recherche en entomologie à travers vos enseignements et vos travaux de recherche sur les bruches du niébé. Vous avez eu l'initiative d'une collaboration avec le LCEA-K de l'INERA pour mon encadrement scientifique. Durant toute la période de mes travaux, vous avez toujours fait montre d'une attention particulière à mon égard. Merci de m'avoir permis de réaliser cette thèse au sein de votre laboratoire. Je vous en suis profondément reconnaissant.

À ma co-directrice de thèse, Dr Clémentine DABIRE-BINSO, Maître de recherches à l'INERA Kamboinsé, responsable du Laboratoire Central d'Entomologie Agricole de Kamboinsé. Merci pour avoir réuni les conditions nécessaires pour la réalisation de cette Thèse. Je vous suis reconnaissant pour m'avoir accepté dans votre laboratoire d'abord en qualité d'étudiant puis en qualité de chercheur junior. Mes sincères remerciements pour vos conseils combien fructueux et pour avoir facilité mon intégration au sein de l'équipe du LCEA-K. Je vous suis également reconnaissant de l'intérêt et de la confiance que vous m'avez témoignée durant toutes ces années.

Au Dr Malick Niango BA, Maître de recherches, Chercheur Sénior à l'ICRISAT au Niger et par ailleurs Directeur de l'Institution. Mes sincères remerciements pour vos conseils combien fructueux. Malgré vos multiples occupations vous avez toujours répondu présent toutes les fois que nous avons rencontré des difficultés. Merci d'accepter d'instruire et de juger ce travail.

Au Pr Wendengoudi GUENDA, Professeur titulaire à l'UFR/SVT, pour avoir accepté présider ce jury, être rapporteur et pour l'attention portée à la lecture de mon manuscrit.

Au Pr Mbacké SEMBENE, Professeur titulaire à l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar, pour avoir accepté d'être rapporteur et pour la pertinence de ses remarques.

Au Dr Ali DOUMMA, Maître de Conférences à l'Université Abdou Moumouni de Niamey, pour avoir accepté de participer à ce jury et pour la qualité de ses remarques.

À mon cousin et grand frère, Dr Adama OUEDA, Maître Assistant à l'UFR/SVT, j'exprime ma profonde gratitude pour son soutien en toutes circonstances, sa fraternité, ses conseils et ses encouragements ainsi que pour m'avoir initié à l'analyse statistique des données.

Aux docteurs, Athanase BADOLO et Olivier GNANKINE, Maîtres de conférences, pour leur disponibilité et leurs conseils.

À mon aîné et collègue du LCEA-K, Dr Fousséni TRAORE, C69hargé de Recherche, pour sa franche collaboration, son amitié et ses conseils.

Aux docteurs Zakaria ILBOUDO, Fernand SANKARA et Edith ILBOUDO, nos aînés et grands frères du LEFA, pour vos multiples soutiens et conseils.

À tous les chercheurs de l'INERA qui m'ont soutenu tout au long de ce travail, soit par des conseils précieux, soit par leur sympathie, soit encore par leurs soutiens matériels. Je pense particulièrement aux Drs Jean Baptiste TIGNEGRE, James NEYA, Elizabeth ZIDA, Konombo BARRO, Joseph T. Benoît BATIENO et Koussao SOME.

Aux enseignants de l'UFR/Sciences de la Vie et de la Terre de l'Université Ouaga 1 Pr Joseph KI ZERBO, je dis merci pour leur soutien. Il s'agit particulièrement des Professeurs Wendengoudi GUENDA, Gustave KABRE et des Drs Maurice OUEDRAOGO et Roger BAYALA.

À tous mes camarades de la 20^e promotion de DEA en Sciences Biologiques Appliquées de l'UFR/SVT, Marcellin YAMKOULGA, Dimitri WANGRAWA, Koï KAM, Salifou ZONGO, Honoré KIENTEGA, Seydou TAMBOURA, Yamba SINIARE, vous avez fait preuve d'une solidarité remarquable, que dans le succès nous nous souvenions toujours les uns des autres.

À tout le personnel du LCEA-K, Théodore OUEDRAOGO, Simon TARPIGDA, Hervé B. BAMA, Boureima ZABRE, Mme YONI/YEYE Suzanne, Dieudonné KOUDA, Issa OUEDRAOGO et Barkié YANGALI, nous vous disons infiniment merci pour vos soutiens multiformes au cours de nos travaux.

Nous tenons à remercier tous les doctorants du Laboratoire d'entomologie fondamentale et appliquée, pour leur franche collaboration et leur sympathie. Il s'agit particulièrement de : Adama KABORE, Appoline SANOU, Souleymane KOUSSOUBE, Jean Christophe KOUSSOUBE, Rahim ROMBA, Samuel DRABO, Aboubacar SOMBIE et Félix YAMEOGO. Que Dieu vous accompagne pour la suite de vos travaux.

Aux étudiants de Licence Professionnelle en Protection des Végétaux. Il s'agit de Dieudonné LANKOANDE et Edouard DRABO.

À tous les producteurs et les agents de vulgarisation de l'agriculture qui ont respectivement accepté de donner gracieusement leur panicule de sorgho et pour l'aide apportée dans le choix des villages.

À mes cousins (Issaka, Bassirou, Moussa, Salif « ladjji », Rasmané, Kabirou) et cousines (Safi, Maïmouna, Ramata), pour cette chaleur familiale à mon égard.

À mes amis, Inoussa, Gilbert « Moro », Gapili, Vetcho, Isma « le boug », Roger « *le djam* », Adamou, Amidou, Pierre, Solo, B. Roger, Augustin « Auguste » et Mathias qui ont toujours été à mes côtés.

Enfin à tous mes amis et camarades : Il serait fastidieux de vous citer. Vous êtes nombreux à vous retrouver à divers degrés dans ce travail. Un merci fraternel à vous tous. Vous trouverez dans ce travail le gage de mon amitié.

Le financement de cette étude a été réalisé grâce au soutien du Centre National de l'Information de l'Orientation Scolaire, Professionnelle et des Bourses (CIOSPB) et des projets CORUS 6072 et PICS. Je tiens donc à leur exprimer ici toute ma gratitude.



LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Schéma d'une coupe du grain de sorgho (Sautier et O'Deye, 1989)	10
Figure 2 : La panicule des cinq races de base de sorgho cultivé (Clerget et <i>al.</i> , 2004)	12
Figure 3 : Distribution géographique des cinq grandes races de sorgho cultivé (Chantereau et Nicou, 1991).....	12
Figure 4 : Bassin de production du sorgho en Afrique de l'Ouest (Chantereau et Nicou, 1991)	13
Figure 5 : Evolution de la production de sorgho de 2000 à 2012 au Burkina Faso (FAOSTAT, 2013).....	15
Figure 6 : Premier stade larvaire de <i>R. dominica</i> F. : (a) vue de profile, (b) vue dorsale, (OE) ocellus, (MED SP) mediane spine, (LER) labrum, (CL) clypeus, (Mx. P) maxillary palp. (Potter, 1935).....	26
Figure 7 : Carte des quatre provinces montrant les sites d'échantillonnages (étoiles).....	34
Figure 8 : Variations des moyennes mensuelles d'humidité relative et de température dans la zone d'étude de janvier à septembre 2011.	35
Figure 9 : Images des insectes identifiés : (a) <i>R. dominica</i> F., (b) <i>P. truncatus</i> H., (c) <i>O. mercator</i> F., (d) <i>C. ferrugineus</i> S., (e) <i>T. castaneum</i> H., (f) <i>T. confusum</i> J., (g) <i>S. zeamais</i> M., (h) <i>A. fasciatus</i> T., (i) <i>A. verbasci</i> L., (j) <i>T. granarium</i> E., (k) <i>C. dimidiatus</i> F., (l) <i>C. maculatus</i> F., (m) <i>S. cerealella</i> O., (n) <i>C. cephalonica</i> S. (Source : http://www.forestryimages.org/ ; http://www1.ala.org.au/)	50
Figure 10 : Abondance des familles de ravageurs identifiés dans les stocks de sorgho	51
Figure 11 : Abondance spécifique des espèces d'insectes identifiées dans les stocks de sorgho	51
Figure 12 : Richesse spécifique probable des insectes ravageurs des stocks de sorgho dans la zone Nord-soudanienne Burkina Faso	52
Figure 13 : Indices d'occurrence des insectes ravageurs des stocks de sorgho obtenus en janvier et en septembre de la période de stockage dans la zone Nord-Soudanienne au Burkina Faso.	53
Figure 14 : Variation temporelle de l'abondance des espèces, de la richesse spécifique, de l'indice de diversité de Shannon et de l'indice d'équitabilité dans les stocks de sorgho de janvier à septembre 2011 dans la zone Nord-soudanienne au Burkina Faso.	54
Figure 15 : Abondance des espèces d'insectes ravageurs, la richesse spécifique, l'indice de Shannon et l'indice d'équitabilité sur sorgho de grains rouges et le sorgho de grains blancs stockés dans la zone Nord-soudanienne au Burkina Faso.....	55

Figure 16 : Abondance des espèces d'insectes ravageurs, la richesse spécifique, l'indice de Shannon et l'indice d'équitabilité dans les greniers en Banco et les greniers en paille dans la zone nord-soudanienne au Burkina Faso.	56
Figure 17 : Classification hiérarchique des insectes ravageurs des stocks de sorgho dans la zone nord-soudanienne du Burkina Faso.....	57
Figure 18 : Ajustement de la distribution des insectes ravageurs des stocks de sorgho à cinq (5) modèles de distribution	58
Figure 19 : Sites probables d'infestation du sorgho par <i>R. dominica</i> F.	68
Figure 20 : Abondance moyenne de <i>R. dominica</i> F. en fonction des sites de prélèvement dans le village de gampela.....	69
Figure 21 : Mortalité des adultes de <i>R. dominica</i> obtenue 20 ; 40 et 60 jours après infestation dans des sachets de couches différentes. (Pour chaque période d'observation, les moyennes ont été comparées avec le test de Student Newman-Keuls au seuil de 5%. Les moyennes avec des lettres alphabétiques différentes indiquent des différences significatives).	88
Figure 22 : Evolution des dégâts (Poids moyen + ET des frass) causés par les adultes de <i>R. dominica</i> aux grains de sorgho au bout de 60 jours dans des sachets de couches différentes.	89

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Production nationale des principales céréales du Burkina Faso lors de campagne agricole 2012/2013.....	14
Tableau 2 : Durée de développement des différents stades de <i>R. dominica</i> en fonction de la température et de l'humidité relative (Edde, 2012).	23
Tableau 3 : Origine et caractéristique des variétés de sorgho utilisées pour les tests.....	37
Tableau 4 : Abondance et répartition des espèces identifiées par famille et par ordre dans les stocks de sorgho au Burkina.....	49
Tableau 5 : Durée de développement et poids moyen de <i>R. dominica</i> F. placé sur le sorgho rouge et sur du sorgho blanc.	69
Tableau 6 : Sex-ratio de <i>R. dominica</i> F. placé sur le sorgho rouge et sur du sorgho blanc.....	70
Tableau 7 : Nombre moyen d'œufs de <i>R. dominica</i> placé sur du sorgho rouge et sur du sorgho blanc.....	70
Tableau 8 : Durée moyenne de vie des mâles et des femelles de <i>R. dominica</i> F. placé sur du sorgho rouge et sur du sorgho blanc.	71
Tableau 9 : Taux d'accroissement de la population en fonction des variétés locales de sorgho (P_i = population initiale, P_f = population finale, T_a = taux d'accroissement).....	72
Tableau 10 : Durée de développement de <i>R. dominica</i> obtenue sur les variétés de sorgho	83
Tableau 11 : Taux d'accroissement de la population en fonction des variétés de sorgho (P_i = population initiale, P_f = population finale, T_a = taux d'accroissement).....	84
Tableau 12 : Taux de mortalité en fonction des variétés de sorgho (T_m = taux de mortalité).....	85
Tableau 13 : Dégâts causés aux grains des grâce à l'activité alimentaire de <i>R. dominica</i> après huit (08) semaines de contact.....	86
Tableau 14 : Indices de Dobie enregistrés sur les différentes variétés de sorgho	87
Tableau 15 : Taux d'émergences de la F1 de <i>R. dominica</i> obtenu 20 ; 40 et 60 jours après infestation (JAI) dans des sachets de couches différentes.	90
Tableau 16 : Variation du poids des frass rejetés par les stades intermédiaires de <i>R. dominica</i> 20 ; 40 et 60 jours après infestation dans des sachets de couches différentes.	91
Tableau 17 : Population finale, taux d'accroissement, poids des frass et nombre de grains perforés dans des sachets de couches différentes huit semaines après infestation.....	92

LISTE DES PLANCHES

Planche 1 : Morphologie du plant de sorgho à l'épiaison [a : plant entier (tige principale avec épi), b : feuille, c : ramification terminale de la panicule, d et e : panicules]	9
Planche 2 : Quelques insectes ravageurs des stocks de sorgho (Cruz et <i>al.</i> , 1988).	19
Planche 3 : diverses vues de <i>Rhyzopertha dominica</i> F. : (a) Adulte, (b) Antenne, (c) Vue de profil de la tête, (d) Pronotum, (e) Vue dorsale, (f) Vue de profil, (g) Vue postérieure, (h) adulte, vue ventrale (<i>Source : Walker, 2006</i>).	21
Planche 4 : Œuf de <i>R. dominica</i> F. : (a) apparence générale, (b) détails de la surface de l'œuf, (c) œuf après éclosion (deux couches visibles) (Kučerová et Stejskal, 2008)	25
Planche 5 : Variétés de sorgho utilisées pour les tests (V1= ICSV 1049 ; V2= Sariasso 10 ; V3=Sariasso 11 ; V4=Sariasso 14 ; V5= Gnossiconi ; V6=Nongomsoba ; V7= BF98-1/10-1-1-1Z-1 ; V8= BF97-19/6-2-1-1Z-1G-1 ; V9= BF97-19/11-1-1-1-1G-1 ; V10= PME04/4-1L-2S-2-1K-2 ; V11=Locale blanche ; V12=Locale rouge ; V13= Kon koos buuga ; V14=Karagkoèga ; V15 = Gadre).	36
Planche 6 : Quelque Matériel de laboratoire. (A) Tamis de 2,5mm de mailles, (B) Tamis de 0,5mm de mailles, (C) Tissu moustiquaire, (D) Loupe binoculaire, (E) Pinceau fin, (F) Balance électrique sensible, (G) Papier aluminium, (H) une paire de ciseaux, (I) une pince souple, (J) Prototype de sachets de 80µm d'épaisseur à double couche contenant 100g de grains de sorgho rouge, (K) soude-sac.	39

LISTE DES PHOTOS

Photo 1 : Les différents stades de développement de <i>R. dominica</i> F. : (a) œuf, (b) larve, (c) nymphe, (d) adulte.....	24
Photo 2 : Stade nymphal de <i>R. dominica</i> : (a) vue ventrale, (b) vue dorsale.	27
Photo 3 : Grains de sorgho endommagés par <i>R. dominica</i>	28
Photo 4 : Structures de stockage du sorgho. (a) grenier en paille ; (b) grenier en banco.....	43
Photo 5 : Echantillonnage des panicules de sorgho dans les greniers traditionnels. (a) grenier en banco ; (b) grenier en paille.....	44
Photo 6 : Echantillons de sorgho placés en incubation pour l'émergence des formes cachées (a) et dispositif d'observation des spécimens à identifier (b).	45
Photo 7 : Dispositif du test de sensibilité des variétés de sorgho vis-à-vis de <i>R. dominica</i>	78
Photo 8 : Dispositif du test de l'effet des sachets plastiques sur la survie des adultes de <i>R. dominica</i>	79

SIGLES ET ABREVIATIONS

ACH : Analyse de Classification Hiérarchique

AIC : Critère d'information de Akaike

ASS : Afrique subsaharienne

DGPER : Direction Générale de la Promotion de l'Economie Rurale

FAO : Food and Agriculture Organization

FAOSTAT : Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database

ICRISAT : International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics

INERA : Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles

INSD : Institut National de la Statistique et de la Démographie

LCEAK : Laboratoire Central d'Entomologie Agricole de Kamboinsé

PICS : Purdue Improved Cowpea Storage

WMO : World Meteorological Organization

RESUME

Les grains de sorgho, à l'instar de ceux d'autres céréales, sont fortement dégradés durant la conservation post récolte par les insectes ravageurs, ce qui entraîne des pertes de l'ordre de 20% chaque année. La présente étude vise à (i) répertorier les insectes ravageurs des stocks de sorgho en milieu paysan, (ii) analyser la distribution de ces insectes et déterminer leur importance relative, (iii) approfondir la biologie et l'écologie du ravageur le plus important et (iv) évaluer l'efficacité de quelques composantes de lutte intégrée contre cet insecte en vue de la mise en place de stratégies de gestion saine, efficace et durable des stocks de sorgho. L'inventaire des insectes ravageurs des stocks de sorgho en milieu paysan et en zone nord-soudanienne du Burkina Faso a permis d'identifier 14 espèces d'insectes ravageurs dont 12 de l'ordre des Coléoptères et 2 de l'ordre des Lépidoptères. La diversité des insectes était significativement plus élevée dans les greniers en paille, sur le sorgho de couleur rouge et à partir du mois de mai et ce jusqu'à la fin des observations au mois de septembre. Les résultats de l'analyse communautaire (ACH), l'occurrence et l'abondance totale des ravageurs ont révélé que *Rhyzopertha dominica* (Fabricius) et accessoirement *Oryzaephilus mercator* (Fauvel), *Cryptolestes ferrugineus* (Stephens) et *Sitophilus zeamais* (Motschulsky) sont les ravageurs les plus importants du sorgho. Par ailleurs, le modèle de distribution des ravageurs dans les greniers correspond au modèle de Zipf-Mandelbrot selon lequel la colonisation d'un milieu par des espèces est fonction des conditions physiques de ce milieu et des espèces pionnières, ce qui suggère une colonisation des stocks par vagues successives avec *R. dominica* comme espèce pionnière. Dès lors, des études approfondies se sont focalisées sur cette espèce. L'étude des paramètres biologiques de *R. dominica* sur deux variétés locales à grains rouge et blanc de sorgho a permis de montrer que ce ravageur était capable de se développer et de se maintenir sur ces deux variétés locales. Cependant, les grains de sorgho de couleur rouge ont été plus sensibles à l'insecte ravageur que ceux de couleur blanche. La résistance variétale et l'utilisation

Résumé

des sachets plastiques de 80µm d'épaisseur comme matériel de stockage hermétique ont été évalués vis-à-vis de *R. dominica*. Le criblage variétal a montré que la variété améliorée blanche de sorgho ICSV 1049 est la plus tolérante aux attaques de *R. dominica* tandis que la variété locale de sorgho rouge Kon Koos Buuga s'est montrée la plus sensible. L'utilisation des sachets plastiques de 80µm d'épaisseur, principale composante de la technologie du triple ensachage (Sacs PICS) a permis de réduire de façon significative l'activité alimentaire des adultes, l'émergence des stades intermédiaires et d'entraîner l'arrêt de l'accroissement des populations de *R. dominica* dans les stocks de sorgho. Les résultats obtenus au cours de cette thèse tout en permettant de mieux appréhender l'environnement du stockage du sorgho en milieu paysan, constituent une avancée scientifique majeure dans la connaissance de la bioécologie de *R. dominica*, principal ravageur identifié. Ils débouchent aussi sur des perspectives intéressantes dans l'exploitation de variétés tolérantes et de la technologie du triple ensachage (sacs PICS) pour une conservation post- récolte efficace et durable des stocks de sorgho.

Mots clés : Sorgho, insectes des stocks, *R. dominica*, Biodiversité, Bioécologie, Variété tolérante, Sacs PICS, Gestion post-récolte.

ABSTRACT

Sorghum grains, as those of other cereals, are seriously damaged by insect pests during the storage period, causing 20% of losses each year. This thesis aims to (i) identify insect pests which damage the sorghum in the farmers' storage system, (ii) analyze the distribution and their relative importance, (iii) deepen the biology and ecology of the most important insect pest and (iv) assess the effectiveness of some components of integrated pest management for controlling this insect in order to implement the healthy management strategies which are efficient and sustainable for the stocks of sorghum. The inventory of the insects' diversity in sorghum stocks in the farmer's area and in the North Sudan region of Burkina Faso allowed us to identify 14 species of insect pests including 12 coleopterans and 2 lepidopterans. The diversity of insects was significantly higher on the red sorghum stored in the granary built with straw, from May to the end of the observations in September. The results of the community analysis, the occurrence and the total abundance of pests revealed that *Rhyzopertha dominica* (Fabricius) and incidentally *Oryzaephilus mercator* (Fauvel) *Cryptolestes ferrugineus* (Stephens) and maize weevil, *Sitophilus zeamais* (Motschulsky) are the most important pests of sorghum. Furthermore, the distribution pattern of the pests in granaries corresponds to the Mandelbrot model in which the colonization of some area by animals' species depends to the physical conditions of this area and to the pioneer species, suggesting a colonization of some stocks in successive waves with *R. dominica* as pioneer specie. Thenceforth, the deepened studies were focused on this specie. The study of biological parameters of *R. dominica* on two local varieties including the white and red sorghum shown that this pest was able to develop and maintain its population on these varieties. However, the grains of red sorghum were more susceptible to pests' attack than those of the white. The varietal screening and the use of plastic bags of 80 µm wall thickness as hermetic storage equipment were assessed for the resistant to *R. dominica*. This screening showed that the white and improved variety of sorghum named ICSV 1049 is

Abstract

the most tolerant to the attacks of *R. dominica* while the local variety of red sorghum Kon Koos Buuga was the most susceptible. The use of plastic bags of 80 µm wall thickness, the main component of the technology of triple bagging (PICS bags) has reduced significantly the feeding activity of adults, the emergence of intermediate instars and stopping the growth of *R. dominica* populations in sorghum stocks. The results obtained in this thesis while allowing a better understanding of the sorghum storage in the farmer environment, constitute a major scientific advance in the knowledge of the bio-ecology of *R. dominica*, the main pest identified. These results also lead to interesting opportunities in the exploitation of tolerant varieties combined to the use of triple bagging technology for long duration sorghum storage.

Keywords: Sorghum, Stored pests, *R. dominica*, Biodiversity, Bio-ecology, tolerant variety, PICS bags, post-harvest management.

INTRODUCTION GENERALE

Le secteur agricole du Burkina Faso occupe plus de 87 % de la population (INSD, 2008) et contribue pour environ 35 % au PIB. La culture du sorgho (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) est la principale activité de ce secteur aussi bien en superficies cultivées (1 788 695 Ha) qu'en production (1 923 805 tonnes) (DGPER, 2013). Avec cette production, le Burkina Faso se classe au dixième rang mondial, au troisième rang Africain et au premier rang en Afrique de l'ouest (FAOSTAT, 2013). Le sorgho est une source majeure d'énergie diététique et de protéines pour environ un milliard de personnes vivant dans les zones semi-arides (Belton et Taylor, 2004 ; Rooney, 2004). Avec sa forte teneur en composés phénoliques et une forte activité antioxydante (Awika et Rooney, 2004 ; Dykes et *al.*, 2005 ; Kasarda et D'Ovidio, 1999), la consommation du sorgho a un effet bénéfique sur la santé humaine.

Les contraintes limitant la production du sorgho sont d'ordres pédoclimatique, socio-économique et biotique. En culture, les contraintes biotiques sont essentiellement dues aux maladies, aux plantes parasites (striga) et aux insectes ravageurs. Au nombre des insectes ravageurs, la cécidomyie du sorgho, *Stenodiplosis sorghicola* a été signalée comme le ravageur le plus important de la culture du sorgho (Doumbia, 1988 ; Nyabyenda, 1995). Les travaux de Dakouo et *al.* (2005) impliquant des souches exotiques de résistance et des variétés performantes adaptées ont permis d'obtenir une gamme importante de nouvelles lignées prometteuses. Ces dernières associent la résistance à la cécidomyie et la tolérance à d'autres contraintes biotiques (punaises des panicules et moisissures des grains), produisant des rendements grains deux à trois fois supérieurs à ceux des variétés locales des paysans. Les efforts consentis pour améliorer la production peuvent néanmoins être vains sans une bonne maîtrise de la conservation post-récolte (Genest et *al.*, 1990). Selon Foua-bi (1989), les contraintes en stockage sont liées aux rongeurs, aux moisissures et aux insectes ravageurs. A l'échelle mondiale les pertes post-récoltes, toutes cultures confondues, sont estimées à environ

10% (Aidoo, 1993 ; Harein et Meronuck, 1995) et la grande majorité des dégâts est attribuée aux insectes. La situation est encore plus précaire dans les pays tropicaux en voie de développement où les pertes post-récoltes sont estimées à plus de 20% (Aidoo, 1993). Au regard de l'importance économique des insectes dans les stocks de céréales, plusieurs études sur la diversité des ravageurs ont déjà été réalisées (Brader, 1986 ; Ngamo, 2000 ; Tamgno et Ngamo, 2013). Sur le sorgho, les études réalisées en Afrique ont permis d'inventorier 6 à 12 espèces d'insectes dans les stocks (Ratnadass, 1990 ; Lavigne, 1991 ; Waongo et *al.*, 2013 ; Tamgno et Ngamo, 2013). Cependant ces travaux ne permettent pas, d'une part, de déterminer les facteurs responsables de la variation de la diversité de ces ravageurs et, d'autre part, de connaître la structuration du peuplement des insectes ravageurs. Nous avons donc étudié, pour la première fois, la diversité des insectes associés aux stocks de sorgho en zone nord-soudanienne du Burkina Faso en mettant l'accent sur les facteurs expliquant la structuration du peuplement entomologique et sa variation au cours du stockage.

Au nombre des insectes ravageurs, *Rhyzopertha dominica* (F.) constitue le principal ravageur de plusieurs grains stockés dont le sorgho (Jood et *al.*, 1996 ; Toews et *al.*, 2000 ; Arthur et *al.*, 2007). Pour cette raison, l'insecte mérite beaucoup d'attention afin de mieux appréhender sa capacité de développement sur le sorgho. Quelques données, bien qu'anciennes, sont disponibles sur la biologie et l'écologie de cet insecte. En effet, *R. dominica* est un Coléoptère Bostrichidae dont l'adulte mesure entre 2 et 3 mm de long avec une couleur variant de rouge-brun à brun-noir. Les adultes sont doués de capacité de vol. Une femelle pond durant toute sa vie environ 300 à 500 œufs dispersés parmi les grains infestés. Le cycle de vie varie entre 3-6 semaines à environ 28 ° C (Potter, 1935). Les adultes peuvent survivre à des températures comprises entre 18 et 38 ° C pour une température optimale de développement de 34 ° C ; le développement est limité en dessous de 23 ° C (Birch, 1945 ; Potter, 1935). La zone d'humidité relative favorable est comprise entre 25% et 70%, l'humidité relative optimale se

situant entre 65% et 70% (Chittenden, 1911 ; Crombie, 1941). Les données sur la biologie du ravageur sont vieilles et aucune étude similaire n'a jamais été menée au Burkina Faso. Au cours de cette thèse, nous avons étudié quelques paramètres biodémographiques de *R. dominica* en utilisant le sorgho comme substrat de développement. La connaissance de tels paramètres pourrait faciliter la mise au point de stratégies efficaces de lutte.

Dans les structures de stockages en milieu paysan de la zone sud soudanienne du Burkina Faso, *R. dominica* (F.) est le déprédateur le plus abondant des stocks de céréales (Waongo et al., 2013). Les dégâts causés par le ravageur sont d'autant plus importants que l'adulte et la larve se nourrissent de grain. L'adulte est responsable de pertes qu'on estime être huit fois supérieures à celles occasionnées par la larve (Delobel et Tran, 1993). En effet, l'infestation des stocks par *R. dominica* occasionne des pertes de poids (Brower et Tilton, 1973) et une diminution de la qualité des grains (Williams et al., 1981) ou encore une contamination des grains par les exuvies larvaires ainsi que les dépouilles des insectes (Wehling et al., 1984 ; Jood et Kapoor, 1993). L'action des insectes dans les stocks déprécie la qualité alimentaire suite à la diminution des acides aminés essentiels contenus dans le sorgho (Jood et al., 1995). Les attaques de l'insecte ont également comme conséquences, une baisse du pouvoir germinatif des grains utilisés comme semences et la réduction de la vigueur des plants à la levée, (Jilani et al., 1989). Les grains infestés par *R. dominica* sont alors vulnérables aux attaques des ravageurs secondaires et aux moisissures (Mukherjee et Nandi, 1993). Pour remédier à l'action déprédatrice de ce ravageur dans les stocks, les producteurs utilisent plusieurs procédés de lutte. Il s'agit entre autres des procédés mécaniques et physiques, des formes de stockage des denrées et de l'addition aux grains de matières minérales et de substances végétales diverses (Appert, 1985b ; Waongo et al., 2013). Cependant, ces méthodes ont souvent une action limitée dans le temps ou ne s'appliquent qu'à de petites quantités de grains. Ainsi pour une conservation de longue durée et pour le stockage de grandes quantités, les producteurs ont fréquemment recours

à l'utilisation des produits chimiques utilisés sous forme de fumigant ou de poudre à mélanger directement aux grains. Ces insecticides présentent des risques pour le bien-être de l'utilisateur, du consommateur et pour l'environnement (Kossou et Aho, 1993 ; Waage, 1992). En outre, ces fumigants participent à la destruction de la couche d'ozone (WMO, 1995). Plusieurs auteurs ont rapporté que *R. dominica* est difficile à tuer avec les insecticides de contact car la majorité de son cycle de développement se déroule à l'intérieur du grain (Arthur, 1992 ; Lorini et Galley, 1999 ; Huang et Subramanyam, 2005). Une utilisation répétée et intempestive des produits chimiques insecticides peut entraîner des phénomènes de résistance des ravageurs aux insecticides (Daxl et al., 1995). Ainsi, certains auteurs ont signalé le développement d'un phénomène de résistance chez *R. dominica* aux insecticides tels que la deltaméthrine (Lorini et Galley, 1999), le malathion, le pirimiphos-méthyl, le fenitrothion et la phosphine (Athié et Mills, 2005 ; Lorini et Collins, 2006). Dans un contexte de changement climatique et de nécessité de préserver l'environnement et vus les inconvénients liés à l'utilisation des produits chimiques, il y a un intérêt global à la recherche de méthodes alternatives utilisant des techniques de lutte à faibles répercussions écologiques. Parmi les méthodes alternatives prometteuses figure la résistance variétale contre les insectes ravageurs. Selon Chandrashekar et Satyanarayana (2016), la principale source de la résistance des grains de sorgho aux attaques des insectes ravageurs réside dans les propriétés chimique et physique des grains. En effet, les composés phénoliques présents dans certaines variétés de sorgho et la dureté des grains sont de puissants inhibiteurs des ravageurs et autres agents pathogènes. Plusieurs études de criblage de variétés de sorgho contre les insectes ravageurs ont été réalisées à travers le monde. Au Mexique, Chuck-Hernández et al. (2013), ont criblé douze cultivars de sorgho pour la résistance à *Sitophilus zeamais*. Ces auteurs ont montré que la résistance des cultivars de sorgho était positivement corrélée à la vitrosité des grains et à l'épaisseur de l'albumen corné. Des observations similaires avaient déjà été faites en Afrique de l'Est par Doggett (1975). Selon

Ramalho *et al.* (1977), la résistance des grains de sorgho vis-à-vis de *S. oryzae* est positivement corrélée à la teneur en tanin et à la dureté des grains. Au Burkina Faso et ailleurs dans le monde, on ne dispose pas de connaissance sur le niveau de sensibilité des variétés de sorgho aux attaques de *R. dominica*, un des principaux ravageurs des stocks de sorgho en milieu paysan au Burkina Faso (Waongo *et al.*, 2013). Nous avons alors examiné le comportement de *R. dominica* en présence de diverses variétés locales et améliorées de sorgho rouge et blanc provenant du Burkina Faso.

Une autre alternative de lutte prometteuse est l'utilisation de la technique du triple ensachage (sacs PICS). Cette technique a déjà montré son efficacité pour la conservation des denrées sous forme de grains comme le niébé, le voandzou et le maïs sans emploi de produits chimiques et garantissant la qualité nutritionnelle des produits stockés (Sanon *et al.*, 2011 ; Baoua *et al.*, 2012 ; Baoua *et al.*, 2014a). Ces auteurs ont montré que la technologie du triple ensachage permet de réduire de façon significative les dégâts des ravageurs dans les stocks de maïs, de niébé et de voandzou. A l'heure actuelle, on ne dispose pas de données, même préliminaires, sur l'efficacité de cette technologie pour la conservation des grains de sorgho. L'utilisation de cette technologie couplée à l'exploitation de variétés tolérantes aux attaques de *R. dominica* pourrait constituer des alternatives prometteuses à considérer dans une stratégie de gestion intégrée des stocks de sorgho.

L'objectif général de cette étude est de contribuer à la connaissance de l'entomofaune des stocks de sorgho et plus particulièrement de *R. dominica* en vue de mettre en place des méthodes de lutte saine, efficace et durable contre l'insecte. Notre hypothèse est qu'une meilleure connaissance de *R. dominica* permettrait de mettre en place des méthodes de lutte efficace afin de réduire les dégâts qu'il occasionne dans les stocks de sorgho. Pour atteindre cet objectif des activités de recherches ont été menées autour de quatre axes principaux :

- Etudier la diversité et la structuration du peuplement des insectes ravageurs des stocks de sorgho et mettre en évidence le statut de *R. dominica* ;
- Déterminer les conditions d'infestation initiale des grains de sorgho par *R. dominica* ;
- Etudier quelques paramètres biologiques de *R. dominica* sur deux variétés locales de sorgho ;
- Evaluer l'efficacité de la résistance variétale et des sacs à triple fond pour contrôler les populations de *R. dominica* dans les stocks de sorgho.

Chapitre I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1. Le sorgho (*Sorghum bicolor* [L.] Moench)

1.1.1 – Origine et distribution

L'espèce *Sorghum bicolor* serait originaire de l'Ethiopie dans la corne de l'Afrique (Mann *et al.*, 1983). Elle est actuellement répandue dans l'ensemble de la zone intertropicale et déborde largement dans les régions tempérées (Chantereau et Nicou, 1991). Selon DeWet *et al.* (1976), la domestication du sorgho s'est faite suivant deux schémas et cela serait confirmé par des études de diversité enzymatique. Dans le premier schéma, un sorgho primitif de type bicolor aurait été domestiqué en bordure sud du Sahara. Dans le second schéma, les races modernes auraient ensuite été développées indépendamment à partir de ce type primitif dans diverses régions d'Afrique. Son expansion s'est poursuivie jusqu'en Asie par voie maritime avant l'ère chrétienne, vers l'Inde d'abord puis la Chine. Le sorgho se serait donc déplacé vers l'Europe depuis l'Inde et l'Afrique à travers l'Arabie et la Perse. Il a atteint l'Amérique du Nord à la fin du XIX^e siècle (Chantereau et Nicou, 1991).

1.1.2 – Description

Le sorgho est une plante annuelle et autogame. Il possède un système racinaire puissant, capable de descendre rapidement à une grande profondeur du sol (jusqu'à 2m) pour y extraire l'eau et les éléments minéraux (Medeiros, 1997 ; Mémento de l'agronome, 2002). Les ramifications qu'il émet donnent les racines latérales qui assurent l'exploration du sol dans toutes les directions (Chanterau et Nicou, 1991). En plus d'un système racinaire puissant, le sorgho possède un métabolisme en C4, ce qui lui confère une meilleure efficacité en conditions chaudes et sèches.

L'appareil végétatif de la plante comprend une tige principale, à croissance érigée, accompagnée de talles (Planche 1a). Le nombre de talles par pied varie en fonction des caractéristiques variétales et des conditions de culture. La hauteur de la plante à maturité varie de 50 cm à plus de 5 m et dépend du nombre de nœuds émis et de la taille des entre-nœuds. L'épaisseur des tiges est également très variable avec un diamètre basal pouvant aller de 5 mm à 4 cm (Chanterau et Nicou, 1991 ; Mémento de l'agronome, 2002).

L'inflorescence, chez le sorgho, est une panicule (Planche 1e). Elle est constituée d'un axe central, le rachis, d'où partent des branches primaires. Celles-ci produisent des branches secondaires et même tertiaires. Les branches primaires sur le rachis sont souvent groupées en verticille. On peut cependant rencontrer des arrangements hélicoïdaux. L'importance relative des différentes parties constitutives de la panicule contribue à la reconnaissance des formes raciales.

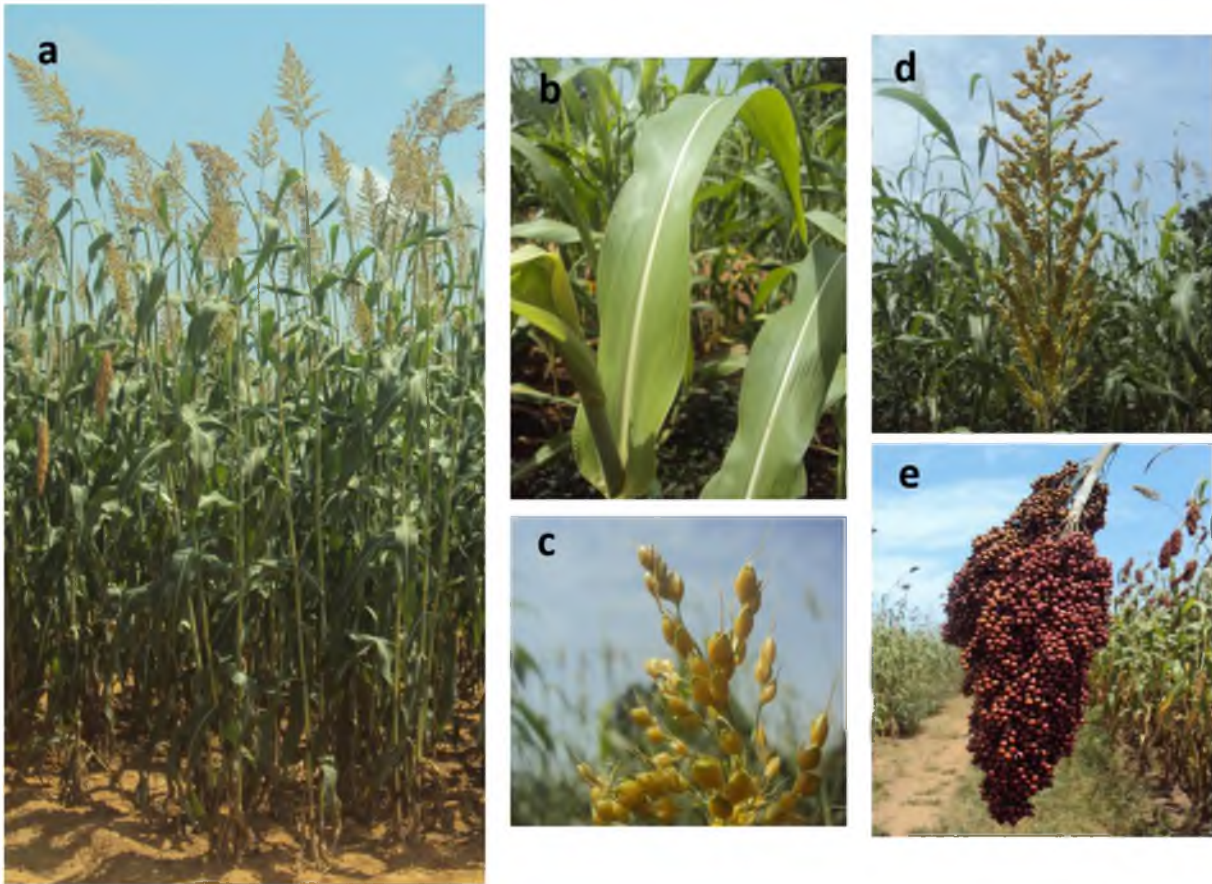


Planche 1 : Morphologie du plant de sorgho à l'épiaison [a : plant entier (tige principale avec épi), b : feuille, c : ramification terminale de la panicule, d et e : panicules]

Le grain de sorgho (figure 1) est un caryopse composé de trois parties principales :

- l'enveloppe qui constitue le péricarpe ;
- le tissu de réserve ou albumen ;
- l'embryon.

Selon Chantereau et Nicou (1991), la couleur du grain est la résultante de l'action de plusieurs facteurs dont les principaux sont :

- la couleur du péricarpe qui peut être blanche, jaune ou rouge ;
- l'épaisseur du péricarpe ;
- la présence ou l'absence de couche brune ;
- la couleur jaune ou blanche de l'albumen.

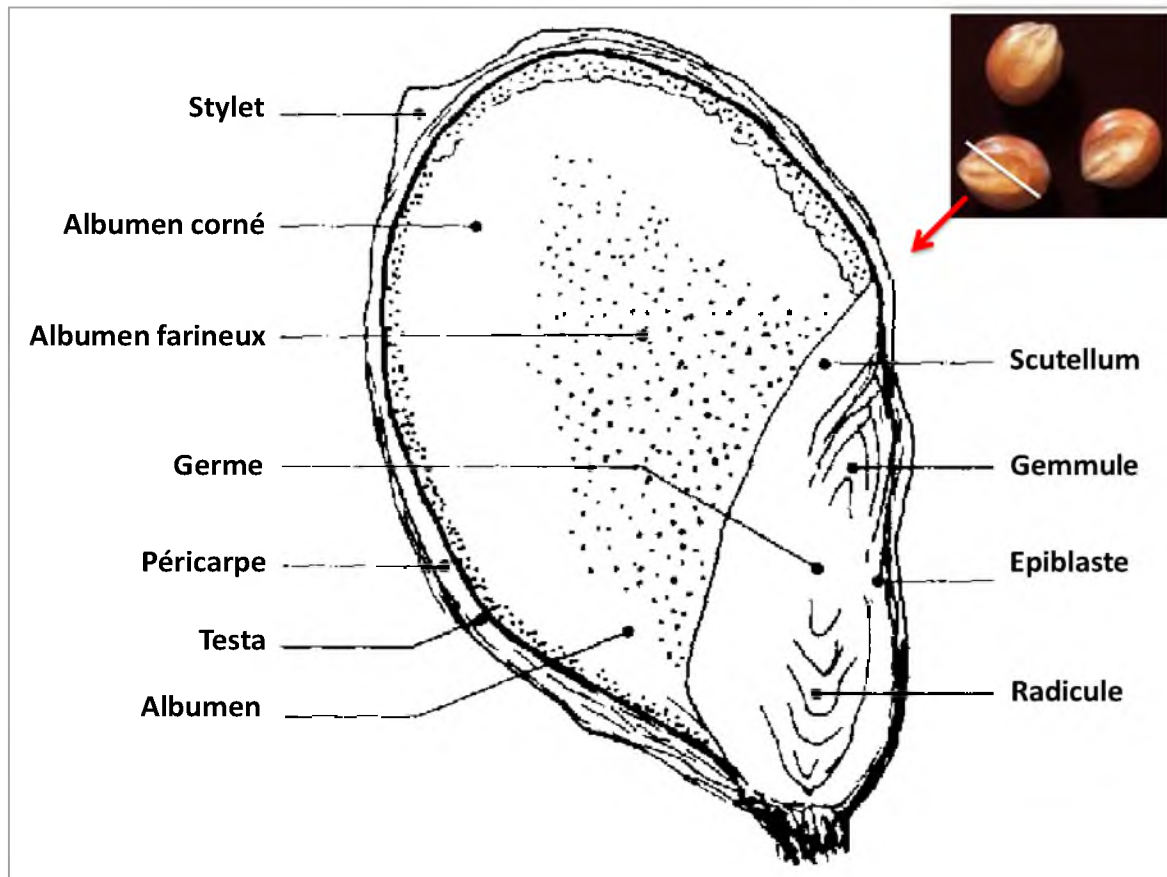


Figure 1 : Schéma d'une coupe du grain de sorgho (Sautier et O'Deye, 1989)

1.1.3 - Taxonomie

Le sorgho (*Sorghum bicolor* L. Moench) est une Poaceae appartenant à la sous-famille des Panicoïdeae et à la tribu des Andropogoneae qui comprend aussi la canne à sucre et le maïs (Mémento de l'agronome, 2002). Le genre *Sorghum* se divise en cinq sections parmi lesquelles se trouve la section *sorghum* composée de 3 espèces : 2 espèces sauvages et pérennes (*S. halepense* et *S. propinquum*) et une espèce annuelle et cultivée (*S. bicolor*). Les très nombreuses variétés existantes ont fait l'objet de diverses classifications. La plus récente et la plus fonctionnelle est celle de Harlan et De Wet (1972) qui a été vérifiée sur 10 000 échantillons.

Elle comporte cinq races de base (Figures 2 et 3), distinguées à l'aide de critères morphologiques, confirmés par des analyses biomoléculaires (Harlan et De Wet, 1972 ; Chanterreau et Nicou, 1991) :

- Les **bicolor** se retrouvent dans toute l'Afrique, mais sont surtout répandus en Asie. Ce sont les sorghos aux caractères les plus primitifs : la panicule est généralement lâche et le grain petit est entièrement couvert par des glumes de grandes tailles et fermées.
- Les **guinea** sont les sorghos typiques d'Afrique de l'Ouest mais sont également présents en Afrique de l'Est et du Sud ; la panicule est lâche et porte des épillets dont les glumes généralement bâillantes renferment un grain elliptique. Ce sont des sorghos généralement de grande taille et photosensibles.
- Les **kafir** sont surtout répandus en Afrique du Sud et de l'Est ; le grain est symétrique et les glumes de tailles variables ; la panicule est relativement compacte et cylindrique. Ce sont des sorghos de petite taille.
- Les **caudatum** sont surtout cultivés en Afrique Centrale et en Afrique de l'Est ; ils sont caractérisés par un grain dissymétrique, aplati sur la face ventrale, bombé sur la face dorsale ; la forme de la panicule peut être très variable.
- Les **durra** se retrouvent essentiellement en Afrique de l'Est, au Moyen-Orient et en Inde ; leur panicule très compacte est généralement portée par un pédoncule croisé ; les glumes sont petites et collées sur un grain globuleux.

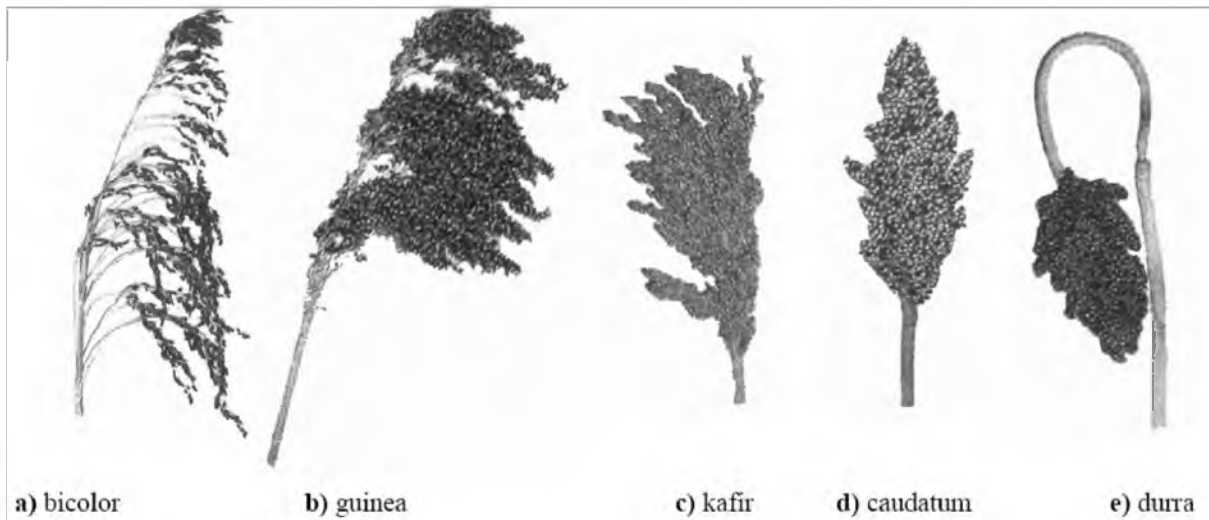


Figure 2 : La panicule des cinq races de base de sorgho cultivé (Clerget et *al.*, 2004)

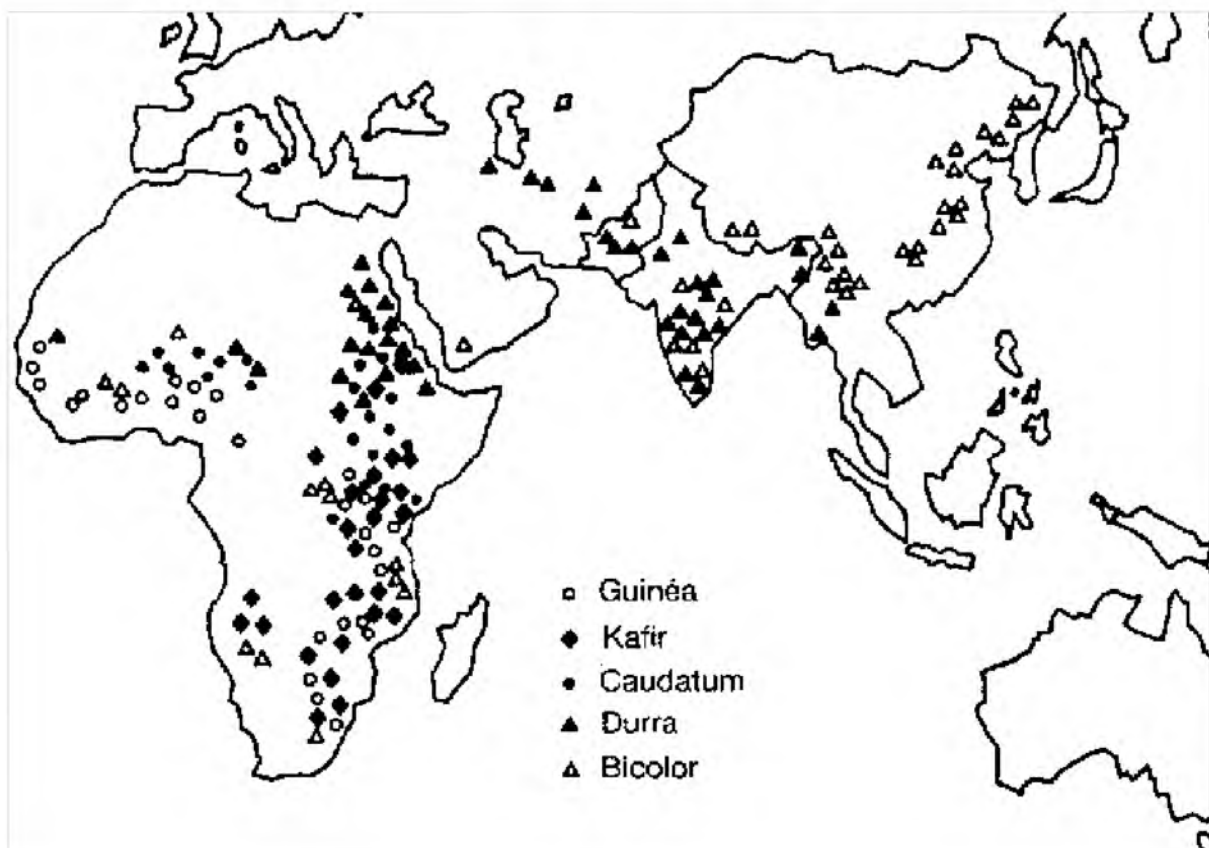


Figure 3 : Distribution géographique des cinq grandes races de sorgho cultivé (Chantereau et Nicou, 1991)

1.1.4 - Importance du sorgho

1.1.4.1 – Production du sorgho dans le monde et au Burkina Faso

Le sorgho (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) constitue la quatrième céréale cultivée dans le monde après respectivement le maïs (*Zea mays* L.), le riz (*Oryza sativa* L.) et le blé (*Triticum aestivum* L.) (FAOSTAT, 2013). En Afrique, le bassin de production de cette denrée se trouve dans la zone soudanienne entre les isohyètes 600 et 1100 mm (Figure 4). En 2012, l’Afrique a produit 40,34% de sorgho dans le monde devant les Amériques (38,11%), l’Asie (16,35%), l’Océanie (3,86%) et l’Europe (1,34%) (FAOSTAT, 2013). Avec une production moyenne de 1 924 000 tonnes en 2012, le Burkina Faso se classe au dixième rang mondial, au troisième rang Africain et au premier rang en Afrique de l’Ouest.

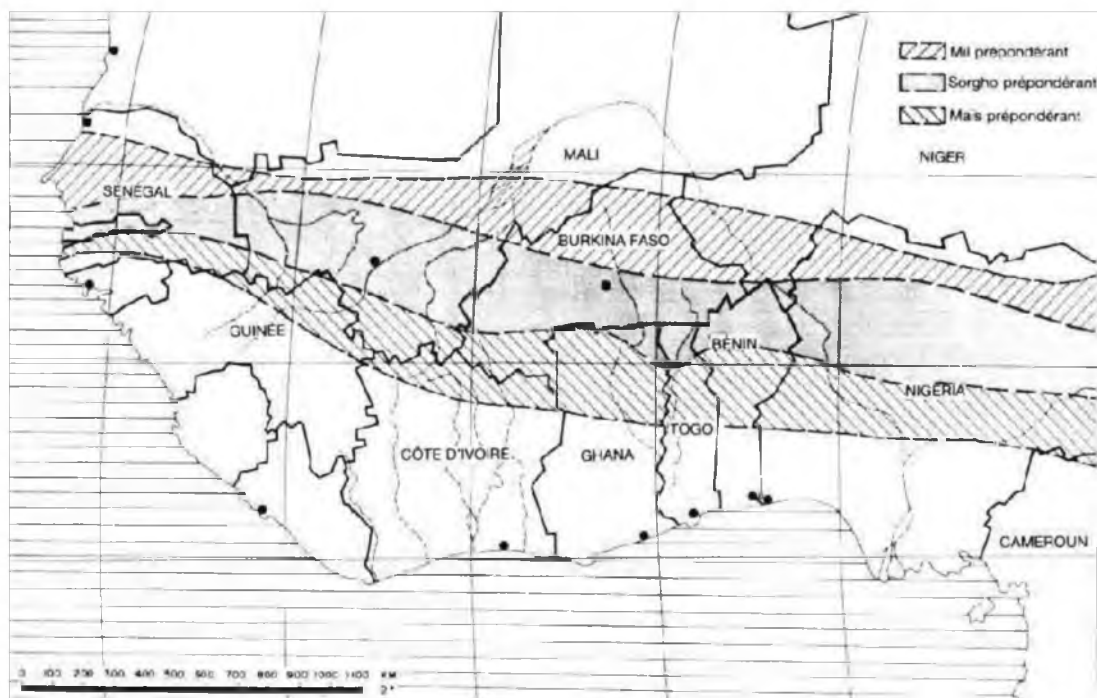


Figure 4 : Bassin de production du sorgho en Afrique de l'Ouest (Chantereau et Nicou, 1991)

Au Burkina Faso, le sorgho est la principale céréale en termes de production et de superficie avec respectivement 1 923 805 tonnes, soit 39,27 % de la production céréalière nationale (Tableau 1), et 1 788 695 Ha de surface cultivée soit 43,93% des terres arables du pays (DGPER, 2013).

Tableau 1 : Production nationale des principales céréales du Burkina Faso lors de campagne agricole 2012/2013

Céréales	Production totale (tonnes)	Surface cultivée (Ha)
Sorgho	1 923 805	1 788 695
Maïs	1 556 316	846 488
Mil	1 078 374	1 272 901
Riz	319 390	136 864
Fonio	20 659	26 833

Source : DGPER, 2013

De 2000 à 2012, la production de sorgho a augmenté d'environ 50% pour atteindre 1 923805 tonnes (FAOSTAT, 2013 ; DGPER, 2013). Cependant, depuis 2007, cette production a connu une évolution en dents de scie. Cette fluctuation s'expliquerait par les variations climatiques que connaît le Burkina Faso. En outre, il y a une corrélation entre l'évolution des surfaces cultivées et les rendements observés. Mais en 2012, on a observé une baisse des surfaces cultivées et une hausse des rendements atteignant 1200 Kg/Ha contre environ 850 Kg/Ha en 2000 (Figure 5). En somme, on enregistre un regain d'intérêt pour cette denrée en témoigne l'évolution de la production, des rendements et des surfaces cultivées durant la dernière décennie.

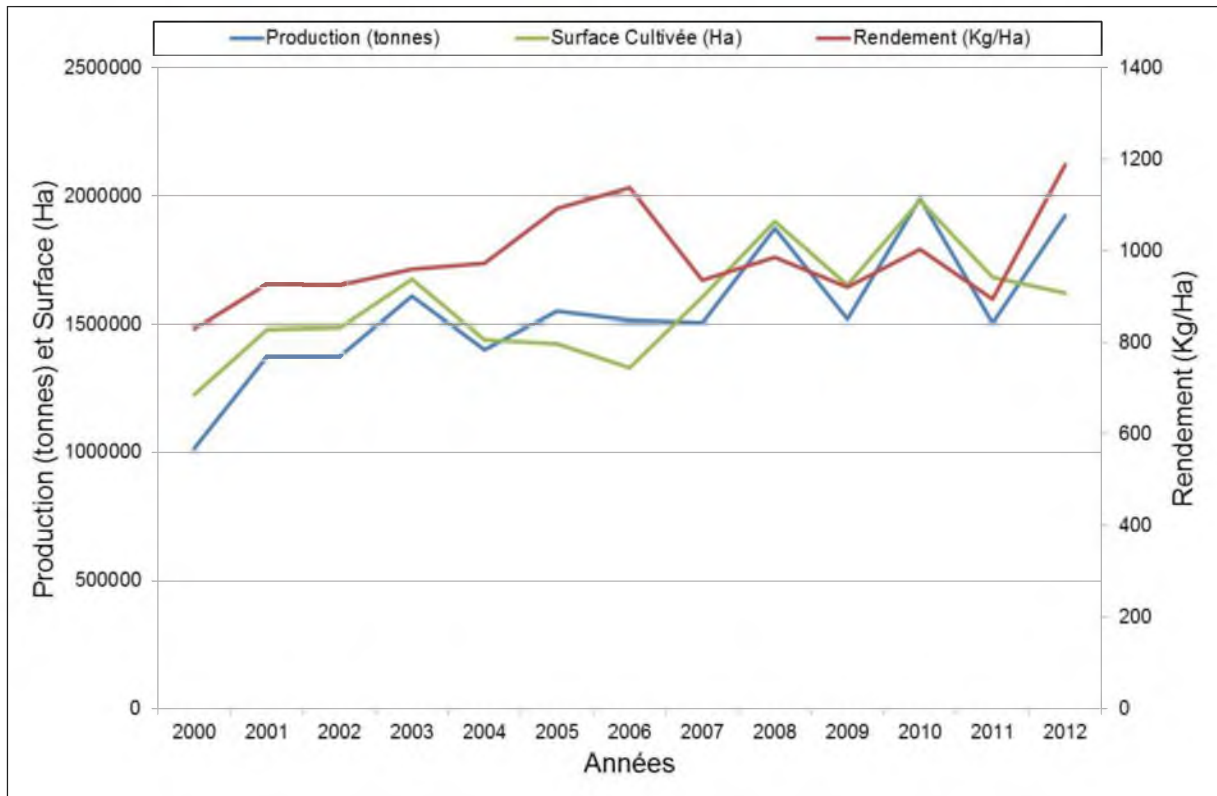


Figure 5 : Evolution de la production de sorgho de 2000 à 2012 au Burkina Faso (FAOSTAT, 2013)

1.1.4.2 – Importance nutritionnelle du sorgho

Le sorgho et le mil constituent la nourriture de base des populations dans les zones soudanienne et sahéenne d’Afrique. Le sorgho est une source importante de composés chimiques différents incluant les tanins, les acides phénoliques, les anthocyanes, les phytostérols et policosanols. Ces composés chimiques ont le potentiel d’avoir un impact notable sur la santé humaine. Cette fraction de la composition du sorgho lui confère *in vitro* une activité antioxydante élevée par rapport à d’autres céréales et fruits (Dykes et Rooney, 2006 ; Dlamini *et al.*, 2007). Le tanin permet de réduire la disponibilité calorique et donc le gain de poids chez les animaux. Cette propriété est potentiellement utile pour aider à réduire l’obésité chez les humains (Awika et Rooney, 2004). La composition en acides aminés des protéines fait apparaître, comme c’est le cas pour toutes les céréales, une déficience en lysine.

Contrairement au maïs, le sorgho contient suffisamment de tryptophane et d'acides aminés soufrés. D'une manière générale, le sorgho est plus riche en protéines que le maïs, mais moins que le blé. Les lipides du germe sont très riches en acides linoléique et linoléinique, acides gras poly-insaturés indispensables à l'Homme et réputés non nocifs pour les artères. L'huile que l'on peut extraire de ce germe n'est en revanche pas utilisable pour la friture (Chantereau et Nicou, 1991).

1.1.4.3 – Utilisation du sorgho

En fonction de la production et de l'utilisation du sorgho, la cartographie du monde peut être scindée en deux groupes qui sont :

- **Groupe I** : ce sont surtout les pays d'Afrique et d'Asie. Ce groupe est caractérisé par une production traditionnelle, de subsistance et peu importante où le sorgho grain est destiné à l'alimentation humaine. Les rendements sont faibles (moins de 1000 Kg/ha) et peuvent varier considérablement d'une saison à une autre (FAO et ICRISAT, 1997 ; Maunder, 2002). Les utilisations alimentaires du sorgho sont nombreuses et différentes dans chaque pays. En Afrique de l'Ouest, on a le « *tô* » ou bouillie épaisse préparée à partir de farine et le « *dolo* » ou boisson artisanale alcoolisée. De plus, les résidus de récolte, soit l'ensemble des tiges, feuilles et panicules égrenées, représentent pour l'agriculteur une importante source de fourrage pour l'alimentation de son bétail (Chantereau et Nicou, 1991 ; Murty et Kumar 1995).
- **Groupe II** : ce sont les pays développés et quelques-uns des pays en développement. La production est moderne, mécanisée et à grande échelle. Les rendements sont importants (3000 à 5000 Kg/ha). Pour ce groupe, le sorgho est destiné à l'alimentation animale et à la production de biocarburant (FAO et ICRISAT, 1997 ; Maunder, 2002).

1.1.5 - Les principaux insectes ravageurs du sorgho

1.1.5.1 - Les insectes ravageurs du sorgho en culture

Au nombre des insectes ravageurs du sorgho en culture, la cécidomyie, *Stenodiplosis sorghicola* C., a été signalée comme le ravageur le plus important de la culture du sorgho dans le monde (Young et Teetes, 1997). Il constitue l'ennemi majeur de cette culture surtout dans les zones Sud, Centre-Ouest et Est du Burkina Faso (Bonzi, 1979 ; Dakouo, 1996) avec des pertes en rendement pouvant atteindre 33 % et représentant 135 000 tonnes par an (Dakouo, 1996). La cécidomyie se nourrit, en effet, des organes floraux et des jeunes grains. En plus de la cécidomyie, on distingue deux autres ravageurs non moins importants qui sont selon Dumbia (1988), Ajayi et Ratnadass (1998) :

- la mouche des semis ou mouche des pousses, *Atherigona soccata* Rondani, qui s'attaque aux jeunes plantules. Une génération dure 3 à 4 semaines en saison des pluies de sorte que la multiplication des insectes est rapide et qu'ils peuvent gravement affecter les semis tardifs.
- les punaises des panicules, *Euristylus oldi* Poppius. Elles provoquent par leurs piqûres des malformations et des colorations anthocyanées du grain, ce qui le déprécie. Elles infestent beaucoup plus fortement les panicules compactes que les panicules lâches des guinea (Bal, 2005).

1.1.5.2. Les insectes ravageurs du sorgho en stockage

Plusieurs insectes attaquent les grains de sorgho durant le stockage sans être spécifiques à cette céréale. Ils appartiennent, pour la plupart, aux ordres des Coléoptères et des Lépidoptères. Ils causent des dégâts qualitatifs et quantitatifs importants. Selon plusieurs auteurs, les principaux insectes ravageurs des stocks de céréales ayant une importance économique dans le monde sont : *Rhyzopertha dominica* (Fabricius), *Sitophilus granarius* (Linné), *Sitophilus oryzae* (Linné), *Sitophilus zeamais* (Motschulsky), *Cryptolestes ferrugineus* (Stephens), *Cryptolestes pusillus* (Schönherr), *Tribolium castaneum* (Herbst), *Tribolium confusum* (Jacquelin du Val), *Lasioderma serricome* (Fabricius), *Oryzaephilus surinamensis* (Linné), *Trogoderma granarium* (Everts), *Ephestia cautella* (Walker) *Corcyra cephalonica* (Stainton) et *Sitotroga cerealella* (Olivier) (ILO - WEP, 1986 ; Delobel et Tran, 1993 ; Waongo et al., 2013) (Planche 2). Dans la zone sud soudanienne du Burkina Faso, les travaux de Waongo et al. (2013) ont permis de recenser neuf (09) espèces d'insectes dans les stocks de sorgho en milieu paysan. Parmi ces espèces, *R. dominica* F. est apparu comme étant le ravageur le plus important au regard de son abondance et de son occurrence.



Planche 2 : Quelques insectes ravageurs des stocks de sorgho (Cruz et *al.*, 1988).

1.2. Le petit capucin des grains, *Rhizopertha dominica* (Fabricius, 1792)

1.2.1 – Origine et distribution

L'origine de *R. dominica* n'est pas connue avec certitude (Edde, 2012). Il existe toutefois un consensus qui voudrait que *R. dominica* soit originaire du sous-continent Indien qui héberge plusieurs espèces d'insectes de la famille des Bostrichidae (Chittenden, 1911; Schwardt, 1933).

Aujourd'hui, il est largement répandu à travers le monde et plus spécifiquement dans l'ensemble des zones tropicales, subtropicales et tempérées chaudes (Delobel et Tran, 1993) où il constitue l'un des principaux ravageurs des grains stockés. Cette distribution du ravageur à travers le monde aurait été facilitée par le commerce international des grains (Edde, 2012). Plusieurs auteurs ont signalé la présence du ravageur au Burkina Faso sans pour autant donner la date de son introduction (Traoré et *al.*, 1996 ; Waongo et *al.*, 2013).

1.2.2 - Description morphologique et position systématique de *R. dominica* F.

1.2.2.1 - Description morphologique

L'adulte de *R. dominica* nouvellement émergé a une forme cylindrique et mesure entre 2 et 3 mm de long et entre 0,8 et 1 mm de large. Son poids frais se situe entre 0,99 et 1,38 mg avec une moyenne d'environ 1,20 mg. Il est de couleur brun-rougeâtre à brun foncé. Cependant des mutants entièrement noirs existent dans la nature. La face est divisée en deux parties, la postérieure de moitié plus courte que l'antérieure. La tête est globuleuse et cachée par le prothorax qui la recouvre à la façon d'un "capuchon". L'antenne comporte dix (10) articles dont les trois derniers sont fortement dilatés et forment une sorte de massue. Le prothorax est plus fortement granuleux en avant qu'en arrière. Les élytres sont arrondis à leurs extrémités postérieures (aussi bien de profil qu'en vue dorsale) et ornés de lignes de grosses ponctuations enfoncées ; leur déclivité postérieure est faible et régulière, et porte des poils recourbés (Planche 3). Il n'existe pas de dimorphisme sexuel apparent chez cette espèce. 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. En outre, chez le mâle, on peut observer une ligne transversale de points enfoncés au niveau de ce même segment.

Cette ponctuation est absente chez la femelle (Potter, 1935 ; Ghorpade et Thyagarajan, 1980 ; Weidner et Rack, 1984 ; Delobel et Tran, 1993 ; Bashir, 2000 ; Edde et Phillips, 2006).

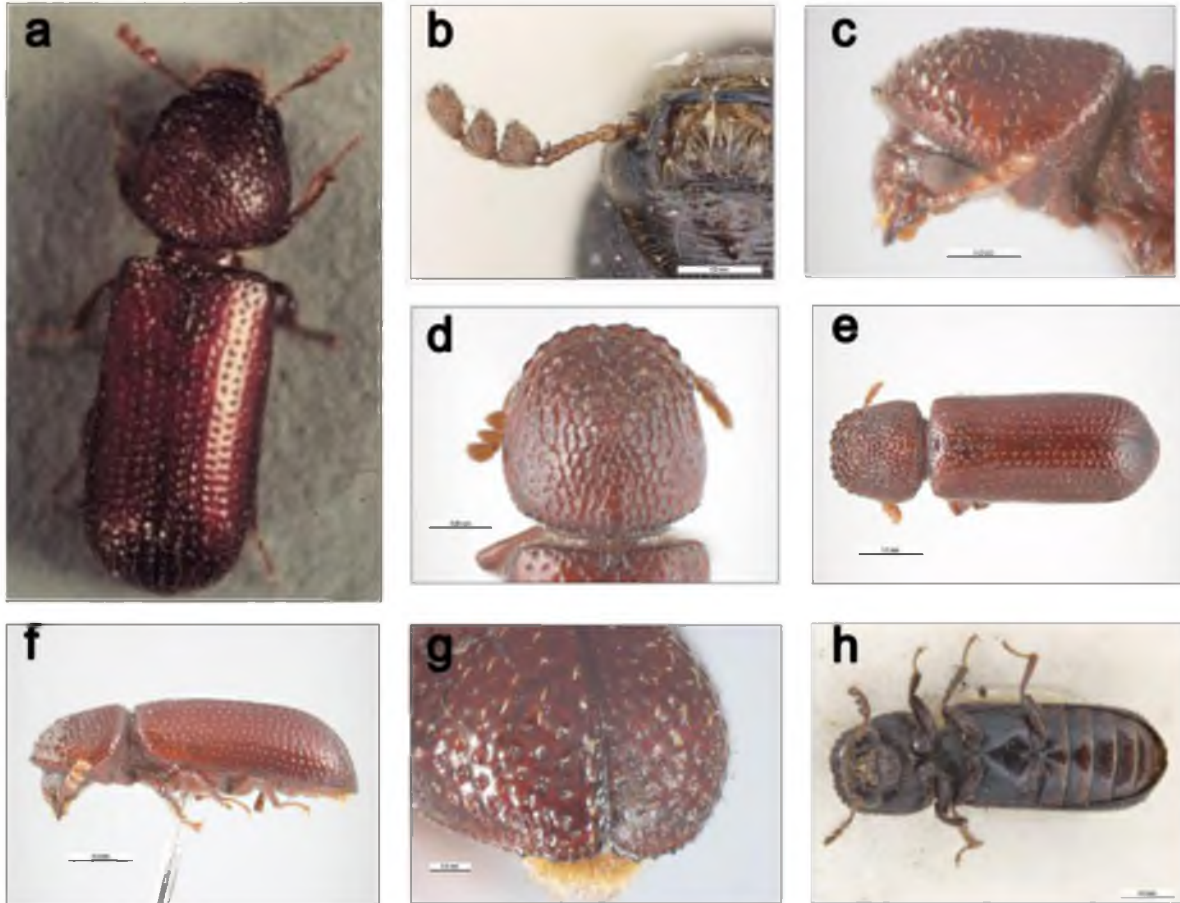


Planche 3 : diverses vues de *Rhyzopertha dominica* F. : (a) Adulte, (b) Antenne, (c) Vue de profil de la tête, (d) Pronotum, (e) Vue dorsale, (f) Vue de profil, (g) Vue postérieure, (h) adulte, vue ventrale (Source : Walker, 2006).

1.2.2.2 - Position systématique

Rhyzopertha domnica F. est un coléoptère appartenant à la famille des Bostrichidae. Il a été décrit pour la première fois en 1792 par Fabricius sous le nom de *Synodendron dominicum* (Chittenden, 1911). En 1896, Lesne décrit une nouvelle fois cette espèce sous sa présente dénomination (Potter 1935).

Ainsi, la position systématique de *R. dominica* est la suivante :

- ⇒ **Ordre :** Coléoptères
- ⇒ **Famille :** Bostrichidae
- ⇒ **Sous famille :** Dinoderinae
- ⇒ **Genre :** *Rhyzopertha*
- ⇒ **Espèce :** *Rhyzopertha dominica* F.

Les insectes regroupés au sein de la famille des Bostrichidae sont des xylophages (Delobel et Tran, 1993). *R. dominica* est la seule espèce du genre *Rhyzopertha*. Ce genre est inclus dans la sous-famille des Dinoderinae, qui comprend également cinq autres genres qui sont : *Dinoderus*, *Prostephanus*, *Rhizoperthodes*, *Dinoderopsis*, et *Stephanopachys* (Fisher, 1950).

1.2.3 - Biologie

1.2.3.1 – L'activité de ponte

Après l'accouplement, la femelle de *R. dominica* dépose les œufs par grappes ou dispersés un par un sur les grains ou dans la farine produite par les adultes suite à leur activité alimentaire. Elle pond en moyenne 1 à 7 œufs par jour et ce nombre peut être influencé par la photopériode (Hagstrum et Flinn 1994). Ainsi, elle pond un grand nombre d'œufs lorsque la photopériode est longue (Aslam et *al.*, 1994). Une femelle peut pondre entre 300 à 500 œufs durant toute sa vie.

1.2.3.2 - Le développement embryonnaire et larvaire

L'incubation des œufs dure de 5 à 14 jours en fonction des conditions du milieu (Chittenden, 1911 ; Crombie, 1941). La larve de premier stade (L1), campodéiforme, s'établit dans la farine non digérée produite par les adultes. Le deuxième stade larvaire (L2), scarabaeiforme, est capable de se déplacer. Les deux premiers stades larvaires sont psychophages. Le troisième et le quatrième stade larvaire sont scarabaeiformes et en grande partie immobiles. Le nombre de mues peut varier de quatre à cinq (Potter, 1935) ou même six à sept (Howe, 1950) selon les conditions environnementales. Par ailleurs, la durée des stades larvaires varie en fonction de la température, l'humidité relative et du substrat alimentaire (Tableau 2).

Tableau 2 : Durée de développement des différents stades de *R. dominica* en fonction de la température et de l'humidité relative (Edde, 2012).

Stades	Durée des stades larvaires (en jours)			
	25°C ^(a)	28°C ^(a)	29°C ^(b)	34°C ^(c)
Œuf	11	7	9	5
L1	13	9	5	-
L2	10	6	4	-
L3	9	5	3	-
L4	13	9	4	-
Total des larves	40	28	25	16
Nymphe	9	6	7	3
Œuf à l'adulte	65	40	38	25

^(a) Howe (1950) : Valeurs obtenues à 70% d'Humidité relative sur de la farine de blé.

^(b) Thompson (1966) : Valeurs obtenues à 75% d'Humidité relative sur des grains de sorgho.

^(c) Birch (1945) : Valeurs obtenues à 70% d'Humidité relative sur des grains de blé.

1.2.3.3 – Cycle de développement et morphologie des stades immatures

Rhyzopertha dominica F. est un insecte holométabole. Son cycle de développement ou cycle de vie passe par quatre (04) stades principaux (Photo1) : œuf, larve, nymphe et adulte (Edde, 2012).



Photo 1 : Les différents stades de développement de *R. dominica* F. : (a) œuf, (b) larve, (c) nymphe, (d) adulte.

1.2.3.3.1 - Œuf

L'œuf de *R. dominica* est opaque, de couleur blanchâtre avec une apparence cireuse lorsqu'il est fraîchement posé, mais prend une couleur rosâtre au fil du temps. L'œuf, qui est de forme ovale, mesure environ 0,5 à 0,6 mm de longueur et entre 0,2 à 0,25 mm de diamètre. L'une des extrémités est généralement un peu plus étroite que l'autre (Planche 4a). La pointe de la surface de l'œuf semble lisse au microscope binoculaire, mais une micrographie électronique à balayage révèle que la surface de l'œuf présente des microstructures granulées et distinctes

(Planche 4b). Les mandibules et l'épine abdominale de la larve sont visibles à travers la coquille de l'œuf à la fin du développement. A l'éclosion, la rupture de la coquille révèle que la paroi de l'œuf est formée par deux couches contrairement à celui de *P. truncatus* qui en comporte une (Planche 4c) (LeCato et Flaherty, 1974 ; Kucěrová et Stejskal, 2008).

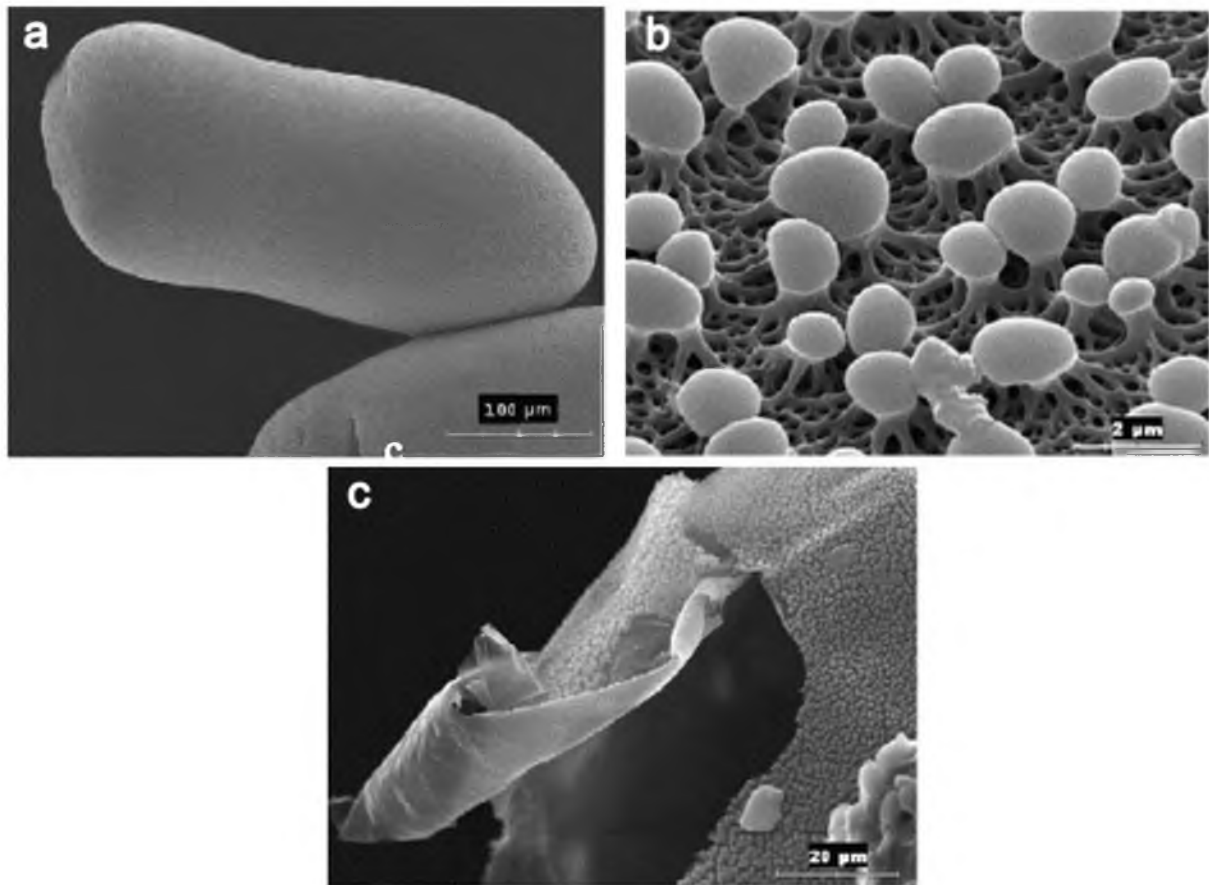


Planche 4 : Œuf de *R. dominica* F. : (a) apparence générale, (b) détails de la surface de l'œuf, (c) œuf après éclosion (deux couches visibles) (Kucěrová et Stejskal, 2008)

1.2.3.3.2 - Larves

On distingue quatre (04) stades larvaires au cours du développement de *R. dominica* (Potter, 1935 ; Howe, 1950 ; Thompson, 1966) :

✚ Premier stade larvaire (L1)

Le premier stade larvaire de *R. dominica* est campodéiforme et possède des pièces buccales. Il mesure environ 0,78 mm de long et la capsule céphalique est de l'ordre de 0,13 mm de large. La larve est très active, et se déplace rapidement sur les grains. On distingue au niveau de sa partie terminale une épine médiane (Figure 6) (Winterbottom, 1922 ; Potter, 1935).

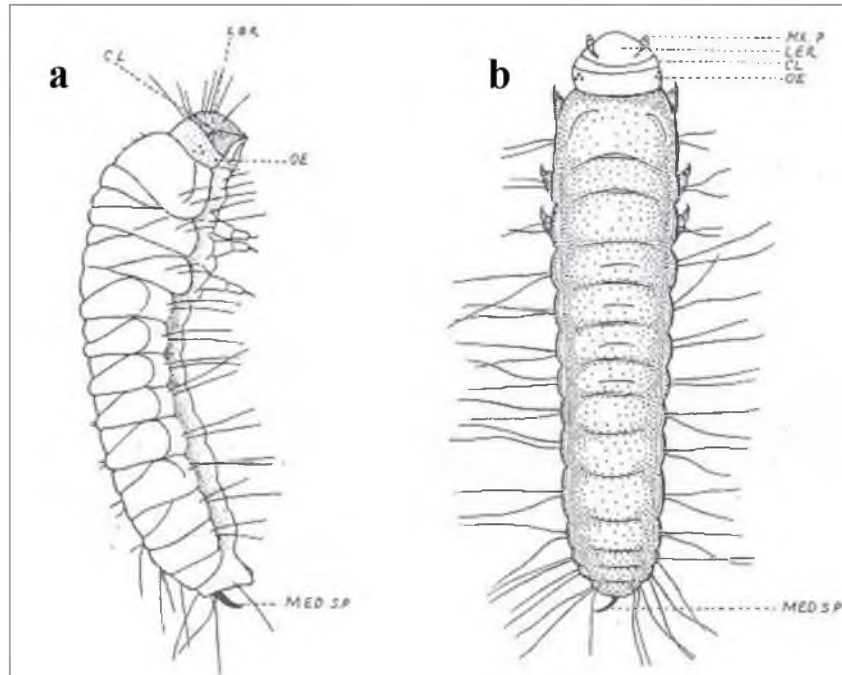


Figure 6 : Premier stade larvaire de *R. dominica* F. : (a) vue de profile, (b) vue dorsale, (OE) ocellus, (MED SP) mediane spine, (LER) labrum, (CL) clypeus, (Mx. P) maxillary palp. (Potter, 1935).

✚ Deuxième stade larvaire (L2)

Le deuxième stade larvaire a une forme similaire au premier stade, mais de plus grande taille. Il mesure environ 1,1 mm de long et la capsule céphalique est d'environ 0,17 mm de large. Contrairement au premier stade, il ne possède pas d'épine à son extrémité postérieure (Winterbottom, 1922 ; Potter, 1935).

✚ Troisième et quatrième stades larvaires (L3 et L4)

Les troisième et quatrième stades larvaires sont scarabaeiformes et sont en grande partie immobiles. Au cours de ces deux stades, la tête est gonflée et rétractée dans le thorax. Il n'y a pas de différence notable de couleur parmi les premier, deuxième, et troisième stade. Cependant, la région ventrale du L4 est blanchâtre, la tête est brun clair, et la couleur des mandibules est brun foncé ou presque noir (Chittenden, 1911; Winterbottom, 1922). La longueur moyenne du corps et le diamètre de la capsule céphalique du L3 sont respectivement de 2,04 mm et 0,26 mm (Potter, 1935). La larve L3 continue de grandir et atteint la maturité au stade L4. A ce stade, sa longueur est d'environ 3,2 mm et le diamètre de la tête est d'environ 0,41 mm.

1.2.3.3.3 - Nymphé

La nymphé présente la tête déprimée caractéristique et le thorax élargi de l'adulte (Photo 2). Elle se trouve dans une cellule creusée par la larve à l'intérieur du grain (Schwardt, 1933). La longueur moyenne du corps est de 3,15 mm et 0,5 mm de diamètre. A ce stade, il est possible de faire la distinction entre les sexes. Le dimorphisme sexuel se situe au niveau de l'extrémité de l'abdomen. Les organes génitaux des femelles sont divergents avec trois segments tandis que ceux des mâles sont convergents, à deux segments (Potter, 1935 ; Halstead, 1963).



Photo 2 : Stade nymphal de *R. dominica* : (a) vue ventrale, (b) vue dorsale.

1.2.4 - Nature des dégâts et importance économique

L'infestation des stocks par *R. dominica* peut résulter de populations résiduelles d'insectes encastrées à l'intérieur des structures de stockage, par le mélange de grains infestés avec des grains sains ou par un transfert d'insectes de sources externes (Sinclair, 1982 ; Vela-Coiffier et *al.*, 1997 ; Hagstrum, 2001). *R. dominica* est classé parmi les principaux ravageurs des grains stockés dans le monde du fait que les larves et les adultes sont particulièrement voraces. Les adultes dévorent le germe tandis que la larve attaque tout le grain en le vidant de son contenu. Les grains deviennent alors creux et percés de trous irréguliers (Photo 3) (Appert, 1985a). L'activité alimentaire des adultes se traduit par un important dépôt de farine composé de granules ovoïdes du germe apparemment non digérés mélangés avec une fine partie farineuse (Breese, 1960). En s'attaquant au germe, l'insecte provoque une réduction du pouvoir germinatif et une altération de la qualité des grains. Finalement, le poids spécifique du grain diminue de l'ordre de 10 à 30% (Rao et Wilbur, 1972 ; Campbell et Sinha, 1976 ; Crombie, 1944) et la valeur marchande du produit se trouve dépréciée.



Photo 3 : Grains de sorgho endommagés par *R. dominica*

1.2.5 - Les méthodes de contrôle des populations de *R. dominica*

Plusieurs méthodes de lutte sont utilisées pour le contrôle des insectes ravageurs des stocks incluant *R. dominica*. Ces mesures se déclinent de la manière suivante :

1.2.5.1 - La lutte traditionnelle

Les procédés qu'emploient les cultivateurs ont globalement des avantages certains : simplicité, bon marché, innocuité. Leur efficacité est, dans le cadre du stockage au village, généralement suffisante, mais ils ne sauraient s'appliquer à la préservation des récoltes une fois celles-ci entrées dans les circuits commerciaux. Les principaux procédés traditionnellement employés dans la protection des récoltes sont les suivants (Appert, 1985b ; Gwinner et *al.*, 1996 ; Waongo et *al.*, 2013) :

a) Mesures préventives avant la récolte

Elles contribuent à prévenir l'introduction dans l'entrepôt des ravageurs des stocks déjà présents dans les champs. Il s'agit entre autres de la sélection des variétés les plus résistantes et les mieux adaptées au stockage ; du choix de la période de récolte, du choix de l'emplacement de l'entrepôt (éloignement des sources d'infestations potentielles) ; du nettoyage et de la réparation soignée des structures de conservation ; de la prévention de l'introduction de ravageurs en vérifiant avant l'emmagasinage l'absence d'infestation (Gwinner et *al.*, 1996).

b) Addition aux denrées stockées de différentes substances

Il existe plusieurs substances pouvant être ajoutées aux denrées stockées. Les trois substances les plus couramment utilisées sont les suivantes :

- Les substances minérales (cendres, chaux, sable, ...) : ces substances agissent de deux façons sur l'animal : par leur action abrasive et par absorption des lipides. La présence de poudre entre les grains gêne en outre le déplacement et la respiration des insectes.

- Les substances végétales (parties vertes de plantes et poudres obtenues à partir de parties vertes séchées, extraits aqueux, huiles végétales) : elles présentent l'avantage d'être à la fois préventives et curatives.

c) Procédés mécaniques et physiques

Ce sont : le triage, le tamisage (vannage), le brassage des grains et le séchage. Ces différentes mesures ont pour but de se débarrasser d'insectes déjà présents mais n'empêchent aucunement des réinfestations ultérieures.

1.2.5.2 – La résistance variétale

La résistance variétale est reconnue comme une alternative de lutte contre les insectes ravageurs des cultures (Nwanzé, 1998). En plus d'être compatible avec les autres méthodes de lutte, la résistance variétale est d'application facile et écologiquement avantageuse. Elle s'inscrit également dans la lutte contre la pauvreté au niveau paysan. La résistance du sorgho vis-à-vis des attaques des ravageurs des stocks a été mise en évidence par Chandrashekar et Satyanarayana en 2006. Selon ces auteurs, les composés phénoliques (acides phénoliques, flavonoïdes et tannins), la dureté des grains de certaines variétés de sorgho constituent les principaux facteurs de résistance. Ces facteurs de résistance ont été utilisés par certains auteurs pour cribler les variétés de sorgho contre les insectes ravageurs du genre *Sitophilus* (Chetterji, 1953 ; Russel, 1962 ; Ramalho et *al.*, 1977 ; Chuck-Hernández et *al.*, 2013). A notre connaissance, les variétés de sorgho n'ont pas encore été criblées pour la résistance aux attaques de *R. dominica*.

1.2.5.3 - La lutte chimique

Les méthodes traditionnelles de lutte contre les ravageurs ne sont plus suffisantes pour protéger les quantités sans cesse croissantes de produits stockés. On assiste de plus en plus à l'usage des produits insecticides. Il s'agit dans la plupart des cas de l'utilisation de poudres insecticides à mélanger au produit à stocker. Cette situation a pour corollaire, l'apparition des formes de résistance des ravageurs aux insecticides (Champ et Dyte, 1976 ; Daxl et *al.*, 1995). En outre, les insecticides peuvent être nocifs pour les espèces non ciblées et peuvent polluer l'environnement (Lorini et Galley 1999). Selon plusieurs auteurs (Chaudhry et Price, 1990 ; Lorini et *al.*, 2007 ; Pimentel et *al.*, 2007), *R. dominica* a développé une résistance contre plusieurs groupes de produits insecticides, la phosphine en particulier. De plus, *R. dominica* est difficile à atteindre avec les insecticides de contact car la majorité de son cycle de développement se déroule à l'intérieur du grain (Arthur, 1992 ; Lorini et Galley, 1999 ; Huang et Subramanyam, 2005).

1.2.5.4 - Le stockage hermétique

La conservation post récolte du niébé s'est considérablement améliorée grâce à la vulgarisation de la technologie du triple ensachage encore appelée sacs PICS (Baributsa et *al.*, 2010 ; Sanon et *al.*, 2011). Cette méthode consiste en l'utilisation de deux (2) sachets plastiques en polyéthylène de haute densité (80µm) et d'un sac en polypropylène (nylon tissé) servant de couverture. Les sacs PICS permettent le contrôle efficace des populations de bruches (*Callosobruchus maculatus* F.) (Sanon et *al.*, 2011 ; Baoua et *al.*, 2012). Ils entraînent la mort des insectes par dessiccation (Murdock et *al.*, 2012). Après le succès éclatant de cette technologie pour la conservation du niébé, elle a été testée avec succès à grande échelle pour la conservation d'autres denrées comme le maïs et le voandzou (Baoua et *al.*, 2014a ; Baoua et *al.*, 2014b).

Une technologie similaire, mais de densité inférieure, appelée SuperGrainbags (SGBs) a été testée avec succès sur les adultes de *R. dominica* F, *Prostephanus truncatus* H. et *Callosobruchus maculatus* F. en condition de laboratoire (García-Lara et *al.*, 2013). Ainsi l'utilisation des sacs PICS de haute densité pourrait permettre de contrôler efficacement les populations de *R. dominica* dans les stocks de sorgho.

Chapitre II : MATÉRIEL ET MÉTHODES

Les recherches menées au cours de cette thèse ont été conduites en deux phases. Une première phase de terrain consacrée à l'inventaire et à l'analyse de la diversité des insectes ravageurs dans les stocks paysans de la zone nord soudanienne du Burkina Faso ; à la détermination des conditions d'infestation des grains de sorgho par *R. dominica*. Une seconde phase de laboratoire qui a porté sur l'étude de paramètres biologiques de *R. dominica* F. ainsi que l'évaluation de deux méthodes de lutte contre le ravageur a été conduite au Laboratoire Central d'Entomologie Agricole de Kamboinsé (LCEAK).

Dans ce chapitre figurent les caractéristiques de la zone d'étude en milieu paysan, le matériel utilisé ainsi que les méthodes et conditions générales d'étude au laboratoire. Les méthodologies spécifiques seront précisées dans les chapitres suivants.

2.1. Caractéristiques de la zone d'étude en milieu paysan

L'étude de la diversité des ravageurs a été réalisée de janvier à septembre 2011 dans quatre provinces du Burkina Faso. Les quatre provinces sont:(Bazèga, Ganzourgou, Boulkiemdé et Kourwéogo). Toutes ces provinces sont localisées dans le secteur phytogéographique soudanien septentrional du Burkina Faso (Figure 7) (Guinko, 1984, Fontès et Guinko, 1995). En 2011, la pluviométrie a varié de 675 mm à 700 mm sur l'ensemble des quatre provinces. Au cours de la période d'échantillonnage, la température moyenne a varié de 24,6°C à 34,1°C et l'humidité relative moyenne de 25% (octobre à juin) à 76% (juillet à septembre) (Figure 8).

La détermination des conditions d'infestation des grains de sorgho par *R. dominica* a été conduite dans le village de Gampela, situé à environ 20 km de la ville de Ouagadougou dans le secteur phytogéographique soudanien septentrional du Burkina Faso. Les coordonnées géographiques sont : 12°25'51" N et 1°22'18" W.

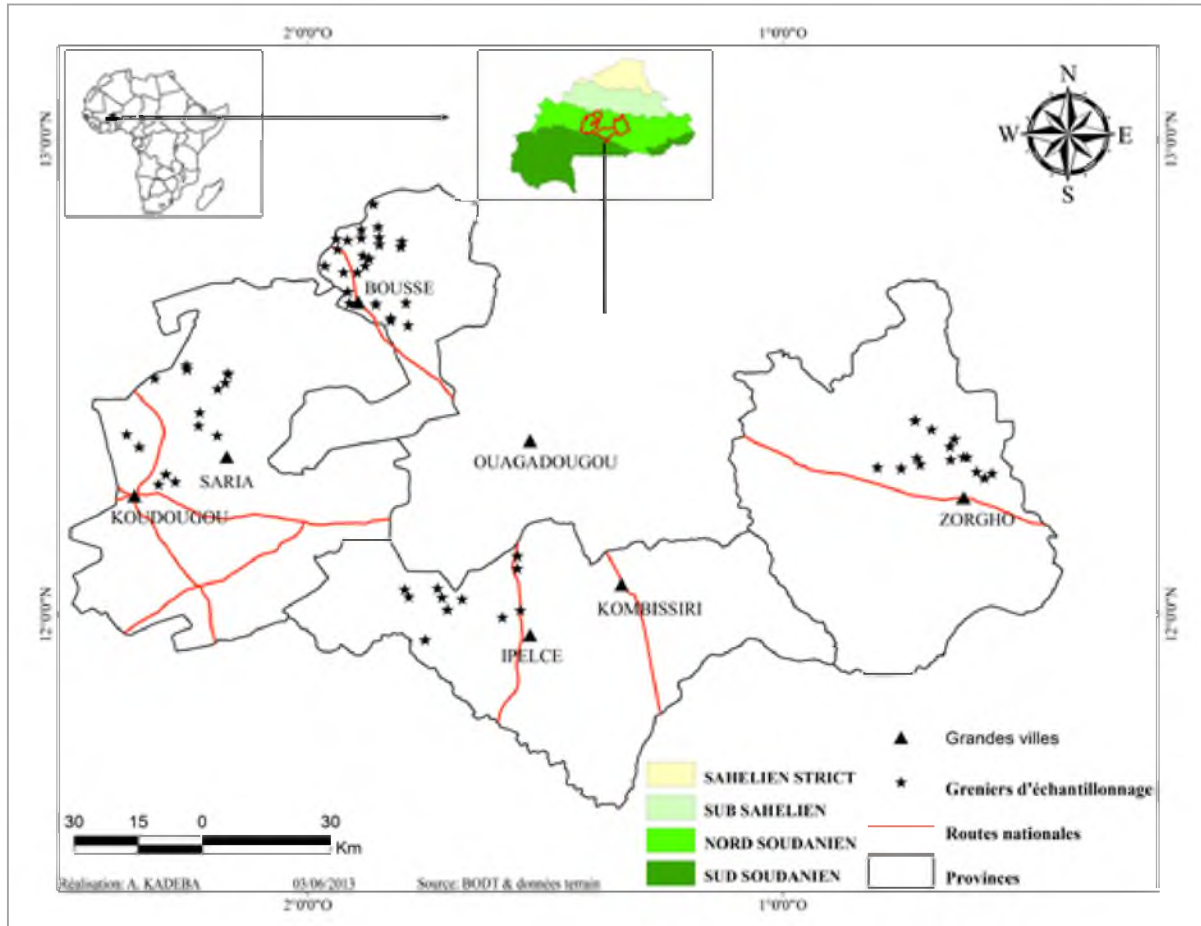


Figure 7 : Carte des quatre provinces montrant les sites d'échantillonnages (étoiles)

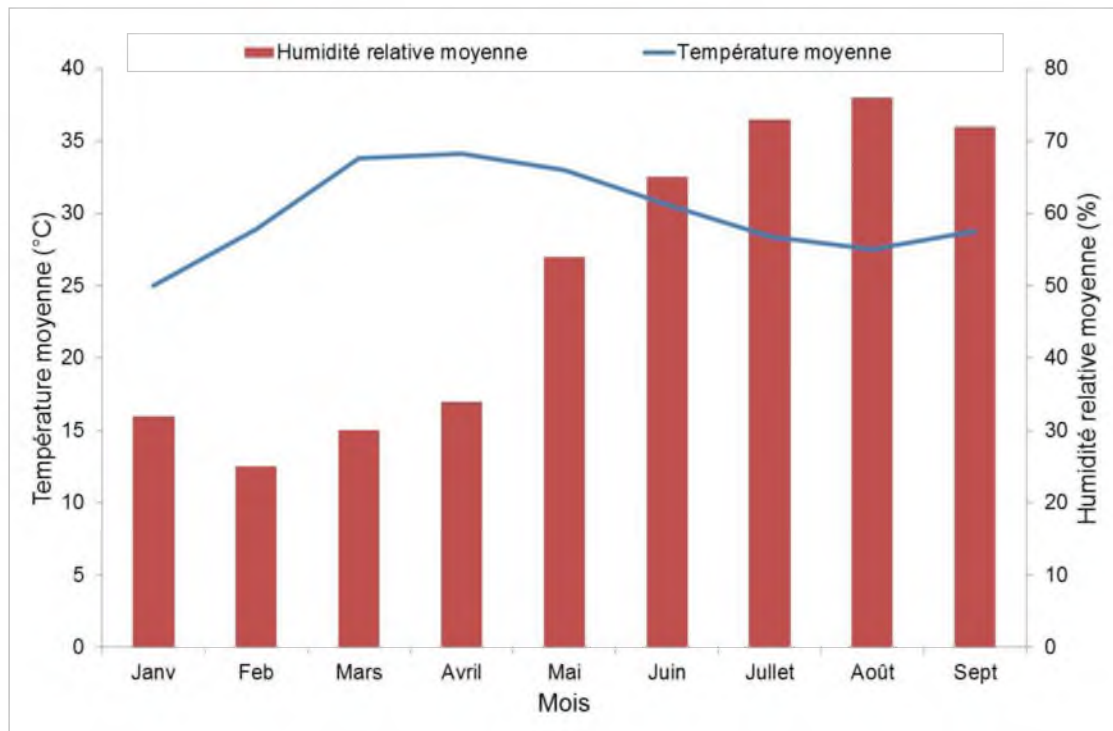


Figure 8 : Variations des moyennes mensuelles d'humidité relative et de température dans la zone d'étude de janvier à septembre 2011.

2.2. Matériel et Méthodes

2.2.1 – Matériel

2.2.1.1 - Matériel animal

La souche de *R. dominica* F. utilisée au cours de cette étude a été collectée dans un magasin de stockage de maïs de la station de recherche de la direction régionale de l'INERA à Farako-bâ. Cette souche a été ensuite établie au Laboratoire Central d'Entomologie Agricole de Kamboinsé par le truchement d'élevages successifs sur une variété locale de sorgho à grains rouges de manga.

2.2.1.2 - Matériel végétal

- Quinze (15) variétés de sorgho (Planche 5) dont dix (10) variétés améliorées et cinq (5) variétés locales (Tableau 3) ont été utilisées pour le test de criblage variétal. Les variétés améliorées ont été fournies par les unités de sélection de la station de Saria (12°16'41,910" N et 02°09'27,72" W). Les variétés locales rouge et blanche ont été achetées au marché de Zogona (12°22'47,74" N et 01°29'39,57" W). Les variétés Kon koss buuga, Karakoèga, et Gadre ont été fournies par un producteur semencier de la localité de Manga. Les échantillons ont été débarrassés des grains endommagés, de faible contenance puis conservés au congélateur pendant 14 jours pour éliminer toute forme d'infestation avant leur utilisation.

- Les variétés locales rouge et blanche de la localité de manga ont été utilisées pour l'étude des paramètres biologiques de *R. dominica* F.

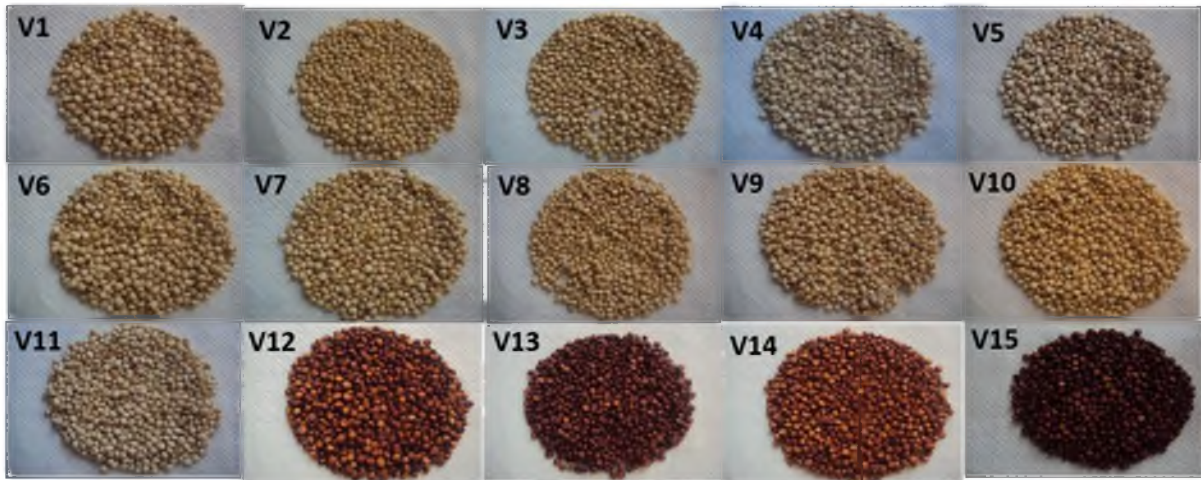


Planche 5 : Variétés de sorgho utilisées pour les tests (V1= ICSV 1049 ; V2= Sariasso 10 ; V3=Sariasso 11 ; V4=Sariasso 14 ; V5= Gnossiconi ; V6=Nongomsoba ; V7= BF98-1/10-1-1-1Z-1 ; V8= BF97-19/6-2-1-1Z-1G-1 ; V9= BF97-19/11-1-1-1-1G-1 ; V10= PME04/4-1L-2S-2-1K-2 ; V11=Locale blanche ; V12=Locale rouge ; V13= Kon koos buuga ; V14=Karagkoèga ; V15 = Gadre).

Tableau 3 : Origine et caractéristique des variétés de sorgho utilisées pour les tests

Variétés	Couleur	Origine	Niveaux de sélection	
			Améliorée	Locale
ICSV 1049	Blanche	ICRISAT/INERA	*	
Sariasso10	Blanche	INERA/CIRAD	*	
Sariasso11	Blanche	INERA/CIRAD	*	
Sariasso14	Blanche	INERA/CIRAD	*	
Gnossiconi	Blanche	INERA/SARIA	*	
Nongomsoba	Blanche	INERA/SARIA	*	
BF98-1/10-1-1-1Z-1	Blanche	INERA	*	
BF97-19/6-2-1-1Z-1-1G-1	Blanche	INERA	*	
BF97-19/11-1-1-1-1G-1	Blanche	INERA	*	
PME04/4-1L-2S-2-1K-2	Blanche	INERA	*	
Locale Blanche manga	Blanche	MANGA		*
Locale rouge manga	Rouge	MANGA		*
Kan koss buuga	Rouge	MANGA		*
Karakoèga	Rouge	MANGA		*
Gadré	Rouge	MANGA		*

2.2.1.3 - Matériel expérimental

Le matériel de laboratoire utilisé au cours de cette étude se compose des éléments suivants (Planche 6) :

- Deux tamis ayant des mailles de 0,5 et 2,5 mm servant à tamiser respectivement la poudre produite par l'activité d'alimentation des adultes de *R. dominica* et les insectes vivants ou morts ;
- des bocaux en verre de capacité 0,25 litre, du tissu moustiquaire, des bracelets et des boîtes de Pétri pour les essais biologiques ;
- d'une loupe binoculaire (Leica M3Z) pour dénombrer les œufs et les adultes de *R. dominica*
- un pinceau fin pour balayer la poudre qui reste au fond des bocaux ;

- des pinces souples pour le retrait des individus vivants ou morts des bocaux d'observation,
- des boîtes en plexiglass (L=18cm ; l=11cm ; h=4 cm) et des bocaux de capacité 1l pour l'élevage de masse de *R. dominica* et le suivi des échantillons.
- une balance électronique sensible de marque OHAUS avec une précision de 0,001g, de l'alcool 70%,
- un humidificateur et un climatiseur pour réguler respectivement l'humidité relative et la température ;
- un thermo hygromètre pour relever quotidiennement l'humidité relative et la température ;
- du papier aluminium pour enrober la poudre produite par *R. dominica* ;
- des prototypes de sachet plastique en polyéthylène de 80µm d'épaisseur (L=15cm, l=15cm) pour les tests d'efficacité sur *R. dominica*. Les sachets en polyéthylène constituent la composante principale de l'efficacité des sacs à triple fond ;
- un soude-sac (ULINE H-1254), une règle, un marqueur et une paire de ciseaux pour la réalisation des prototypes de sacs à triple fond.



Planche 6 : Quelque Matériel de laboratoire. (A) Tamis de 2,5mm de mailles, (B) Tamis de 0,5mm de mailles, (C) Tissu moustiquaire, (D) Loupe binoculaire, (E) Pinceau fin, (F) Balance électrique sensible, (G) Papier aluminium, (H) une paire de ciseaux, (I) une pince souple, (J) Prototype de sachets de 80µm d'épaisseur à double couche contenant 100g de grains de sorgho rouge, (K) soude-sac.

2.2.2 – Méthodes

2.2.2.1- Conditions d'étude au laboratoire

L'étude des paramètres biologiques de *R. dominica* ainsi que l'évaluation de méthodes de lutte contre cet insecte se sont déroulées au Laboratoire Central d'Entomologie Agricole de Kamboinsé (LCEAK). Pendant la période d'étude, la température minimale du laboratoire était de 23,4°C et celle maximale de 30,8°C. Les taux d'humidité minimale et maximale ont été respectivement de 51% et 95% pendant la période de l'expérimentation.

2.2.2.2 - Elevage de masse de *R. dominica* au laboratoire

L'élevage de masse du petit capucin a été réalisé dans des boîtes en plexiglass (L=18, l=11, H=4 cm) dans lesquels étaient introduits des grains sains de la variété locale de sorgho rouge de manga. Les bocaux et les boîtes étaient refermés par une toile moustiquaire maintenue par un bracelet. Environ 200 adultes de *R. dominica* issus de la colonie de laboratoire et nouvellement émergés ont été utilisés pour infester 200 g de grains sains de sorgho. Les individus sont retirés une semaine plus tard et les grains infestés sont suivis jusqu'à l'émergence d'insectes de la nouvelle génération au bout de 40 à 50 jours. Le même processus est répété périodiquement pour maintenir les élevages.

Chapitre III : INVENTAIRE ET DIVERSITÉ DES INSECTES RAVAGEURS DES STOCKS DE SORGHO EN ZONE NORD SOUDANIENNE DU BURKINA FASO.

3.1. Introduction

De nombreux pays d'Afrique subsaharienne (ASS), dont le Burkina Faso, souffrent de déficits alimentaires chroniques qui sont causés par plusieurs facteurs tels que la persistance d'une faible productivité des cultures de base. Les pertes post-récoltes constituent un facteur important souvent oublié tandis qu'elles contribuent aussi à des déficits alimentaires chroniques. Un rapport conjoint de la Banque Mondiale, de l'Institut des Ressources Naturelles du Royaume-Uni et de l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO) indique que la valeur des pertes post-récoltes des céréales en Afrique subsaharienne pourrait atteindre près de 4 milliards de dollars par an sur un montant estimé à 27 milliards de la production céréalière annuelle (World Bank, 2011). Une part importante de ces pertes est imputable aux insectes ravageurs. Ces derniers peuvent non seulement provoquer des pertes de poids mais peuvent également modifier les propriétés physico-chimiques du grain (Park et *al.*, 2008). Les insectes qui se développent dans les structures de stockage de céréales peuvent également favoriser le développement des champignons producteurs de toxines à l'image d'*Aspergillus flavus*, producteur de l'aflatoxine, une substance cancérigène (Lamboni et *al.*, 2009). Des données complètes relatives aux insectes ravageurs des denrées telles que le manioc, le maïs et le niébé, sont disponibles (Caswell, 1961 ; Ratnadass et Sauphanor, 1989 ; Nukenine, 2010). À notre connaissance, très peu de travaux ont été menés sur les insectes ravageurs de sorgho stocké (Ratnadass et *al.*, 1994 ; FAO, 1998). Ainsi, en 2009, un inventaire des insectes ravageurs des stocks de sorgho dans la zone Sud-soudanienne du Burkina Faso a permis l'identification de neuf espèces de coléoptères et de lépidoptères dans les structures de stockage ; avec *Rhyzopertha dominica* comme principal ravageur (Waongo et *al.*, 2013).

En plus de l'inventaire des ravageurs dans les stocks paysans de sorgho, la présente étude, menée en zone nord soudanienne du Burkina Faso, vise à : (1) déterminer les facteurs responsables de la variation de la diversité de ces ravageurs ; (2) connaître la structuration du peuplement des insectes ravageurs des stocks de sorgho ; (3) identifier les principaux ravageurs des stocks de sorgho tout en précisant le statut de *R. dominica* identifié comme ravageur majeur de plusieurs grains stockés (Waongo et al., 2013).

3.2. Méthodologie

3.2.1. Choix des villages et des producteurs

Dans chacune des quatre provinces retenues pour l'étude (voir chapitre II), avec l'aide des agents techniques d'agriculture et/ou des techniciens de l'Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA), nous avons dressé une liste des villages susceptibles de disposer de stocks suffisants de sorgho pouvant couvrir toute la période de l'étude. Dans le cas où le nombre de villages listés est supérieur à 5 nous procédions à un tirage aléatoire pour ne retenir que cinq villages. Dans chaque village, lors d'une séance de prise de contact, nous avons choisis trois producteurs sur la base du volontariat et de la disponibilité de stock suffisant de sorgho pouvant couvrir toute la période de l'étude. Au total, 20 villages et 60 producteurs ont été retenus pour l'étude.

3.2.2. Méthodes de conservation des grains de sorgho

Dans la zone Nord-soudanienne du Burkina Faso le sorgho est généralement récolté à la fin du mois d'octobre, puis stocké dans les greniers en Novembre et progressivement consommé jusqu'à la prochaine récolte. Cependant, lors des saisons déficitaires, les stocks peuvent se terminer avant la récolte suivante. Dans tous les villages sélectionnés, le sorgho était stocké sous forme de panicules soit dans des greniers en banco avec un toit en paille, ou dans des greniers tissés en paille (Photo 4). Notre échantillon comprenait 40 greniers en paille et 20 greniers en banco. Nous avons rencontré du sorgho à grains blancs et à grains rouges. Notre échantillon comprenait 38 greniers avec des grains de sorgho rouge et 22 greniers avec des grains de sorgho blanc. Les denrées stockées dans tous les greniers sélectionnés n'étaient pas traitées avec des pesticides (insecticides de synthèse ou biologiques).



Photo 4 : Structures de stockage du sorgho. (a) grenier en paille ; (b) grenier en banco

3.2.3. Echantillonnage

Dans toutes les zones visitées le sorgho était conservé en panicules, ainsi nous avons décidé de commun accord avec les producteurs de prélever quatre (04) panicules de sorgho par grenier (Photo 5) et par période de sorte qu'ils puissent supporter le poids des prélèvements durant toute la période d'observation. Ainsi cinq (5) prélèvements ont été effectués, à raison d'un prélèvement toutes les huit semaines. L'étude a duré neuf (09) mois. A chaque prélèvement, les panicules échantillonnées sont placés dans des sacs en tissu et étiquetés. Les coordonnées géographiques de chaque grenier sont également notées.



Photo 5 : Echantillonnage des panicules de sorgho dans les greniers traditionnels. (a) grenier en banco ; (b) grenier en paille.

3.2.4. Analyse et suivi des échantillons

Les échantillons étaient analysés au laboratoire deux semaines maximum après leur prélèvement pour éviter leur détérioration. Pour ce faire, tous les échantillons étaient tamisés avec un tamis de maille 3 mm pour isoler les formes adultes. Les individus recueillis étaient conservés dans des tubes de 50 ml contenant de l'alcool à 70° et étiquetés.

Les échantillons tamisés étaient ensuite placés en incubation dans des bocaux en verre (Photo 6a), de contenance 3l dont l'ouverture est recouverte d'une toile moustiquaire, maintenue par un bracelet, afin de permettre l'émergence des formes cachées (œufs, larves et nymphes). L'incubation a duré huit (08) semaines en conditions ambiantes du laboratoire. Les échantillons étaient périodiquement tamisés, comme précédemment pour collecter les insectes émergés (Park *et al.*, 2008). A l'issue de cette phase d'incubation, les insectes adultes collectés et conservés dans de l'alcool à 70% étaient identifiés à partir des critères morphologiques, sous loupe binoculaire (Photo 6b), à l'aide de clés d'identification contenues dans les ouvrages de : Weidner et Rack (1984), Bousquet (1990), Delobel et Tran (1993), Farrell et Haines (2002) et Koehler *et al.* (2006).



Photo 6 : Echantillons de sorgho placés en incubation pour l'émergence des formes cachées (a) et dispositif d'observation des spécimens à identifier (b).

3.2.5 - Traitements et analyses statistiques des données

L'analyse proprement dite des données sur l'inventaire et la diversité des insectes ravageurs des stocks a été précédée d'une transformation logarithmique des données selon la formule $\text{Log}_{10}(x+1)$, x étant le nombre d'individus observés (Chijindu *et al.*, 2008 ; Herve, 2011).

Cette transformation dont l'objectif était de rendre les données homogènes a concerné les données portant sur le nombre des insectes.

Trois paramètres ont été utilisés pour caractériser la qualité des données collectées :

- *l'indice de Jackknife 1 et l'indice de Chao et boot* qui permettent d'estimer le nombre probable d'insectes attendus ;

- La courbe de raréfaction qui permet de mesurer l'effort d'échantillonnage en donnant une idée sur la probabilité d'obtenir un échantillonnage exhaustif.

En plus de l'abondance et de la richesse spécifique, trois indices ont servi d'indicateurs pour analyser la diversité des ravageurs :

- *l'indice de Shannon (H')* permet de mesurer le degré d'organisation du peuplement. Plus H' croît plus la diversité est élevée (Dajoz, 2000) ;

- *l'indice d'équitabilité de Pielou (E)* qui traduit la qualité d'organisation d'un peuplement (Dajoz, 2000 ; Magurran, 2004). Il est proche de 1 quand toutes les espèces tendent à avoir une même abondance et proche de 0 quand une ou quelques espèces dominent le peuplement ;

- *l'indice d'occurrence (F)* : Il consiste à comptabiliser le nombre d'échantillons contenant une catégorie de déprédateurs i (N_i) et à l'exprimer en pourcentage du nombre total (N_t) d'échantillons contenant au moins un déprédateur. Cet indice permet de caractériser trois types de déprédateurs à savoir : les espèces de déprédateurs constantes (plus de 50% des échantillons), les espèces accessoires (25 à 50% des échantillons) et les espèces accidentelles (moins de 25% des échantillons).

Une vérification de la distribution des données avec le test de Shapiro - Wilk a été réalisée sur toutes les variables quantitatives afin de choisir le test approprié. Ainsi, le test de Mann-Whitney-Wilcoxon a permis de tester la variation des indices de diversité en fonction de la couleur des grains et du type de structure de stockage. En outre, la variation des différents indicateurs de diversité en fonction de la période d'échantillonnage a été testée en utilisant une analyse de variance suivant le modèle de Kruskal-Wallis. Le test a été suivi d'un test pour comparer les moyennes deux à deux. Tous les tests ont été considérés significatifs au seuil de probabilité de 5%.

Une Analyse de Classification Hiérarchique (ACH) a été utilisée pour classer les espèces de ravageurs en fonction de leur occurrence. L'ACH a porté sur la matrice de présence-absence des ravageurs dans les différentes localités. Pour réaliser l'ACH, nous avons opté pour la distance euclidienne et la méthode de Ward. La méthode de « fusion level » a servi au choix du nombre optimal de groupes (Borcard et *al.*, 2011).

Le modèle de distribution d'abondance des insectes a été testé grâce au diagramme rang-fréquences. Plusieurs modèles ont été testés (le modèle nul, le modèle de Preemption le modèle log-Normal, le modèle de Zipf et le modèle de Zipf-Mandelbrot) et le meilleur modèle est celui dont la valeur de l'AIC (Critère d'information de Akaike) est la plus faible (Sakamoto et *al.*, 1986).

Les traitements statistiques sur la diversité des ravageurs ont été réalisés avec le logiciel R.2.15.1. en utilisant les packages suivants : ade4 (Dray et Dufour, 2007), vegan, (Oksanen et *al.*, 2012), gclus (Hurley, 2012), cluster (Maechler et *al.*, 2012), RColorBrewer (Neuwirth, 2011), labdsv (Roberts, 2012), mvpart (De'ath, 2012), BiodiversityR (Kindt et Core, 2005).

3.3. Résultats

3.3.1. Inventaire des insectes ravageurs dans les stocks de sorgho

Au total 14 espèces (Figure 9) et 10 familles réparties en deux ordres, les Coléoptères et les Lépidoptères, ont été identifiées sur le sorgho stocké (Tableau 4). Les Coléoptères représentent l'ordre le plus diversifié avec 8 familles et 12 espèces. L'ordre des Lépidoptères se compose de 2 familles et deux espèces. Les Dermestidae constituent la famille la plus diversifiée avec trois espèces et appartiennent à l'ordre des Coléoptères.

Les familles les plus abondantes sont les Bostrichidae et les Silvanidae qui appartiennent toutes à l'ordre des Coléoptères et représentent respectivement 40,60% et 23,79% des insectes rencontrés sur le sorgho (Figure 10). Les Nitidulidae (0,50%) et les Bruchidae (0,27%) quant à elles sont les familles les moins abondantes et appartiennent également à l'ordre des Coléoptères. Chez les Lépidoptères, la famille des Gelechiidae est la plus abondante (6,09%) et celle des Pyralidae, la moins abondante (1,34%).

Sur les 14 espèces d'insectes rencontrées dans les stocks de sorgho, *Rhyzopertha dominica* (Fabricius) est l'espèce la plus abondante et représente à elle seule, 39,53% des insectes (Figure 11). Elle est suivie de *Oryzaephilus mercator* (Fauvel) (23,79%) et de *Cryptolestes ferrugineus* (Stephens) (9,25%). Ces trois espèces, appartenant toutes à l'ordre de Coléoptères représentent presque les $\frac{3}{4}$ des insectes des stocks de sorgho (72,57%).

Tableau 4 : Abondance et répartition des espèces identifiées par famille et par ordre dans les stocks de sorgho au Burkina

Ordres	Familles	Espèces
Coléoptères	Bostrichidae	<i>Rhyzopertha dominica</i> (Fabricius)
		<i>Prostephanus truncatus</i> (Horn)
	Silvanidae	<i>Oryzaephilus mercator</i> (Fauvel)
	Cucujidae	<i>Cryptolestes ferrugineus</i> (Stephens)
	Tenebrionidae	<i>Tribolium castaneum</i> (Herbst)
		<i>Tribolium confusum</i> (Jacquelin du Val)
	Curculionidae	<i>Sitophilus zeamais</i> (Motschulsky)
	Dermestidae	<i>Attagenus fasciatus</i> (Thunberg)
		<i>Anthrenus verbasci</i> (Linné)
		<i>Trogoderma granarium</i> (Everts)
Nitidulidae	<i>Carpophilus dimidiatus</i> (Fabricius)	
Bruchidae	<i>Callosobruchus maculatus</i> (Fabricius)	
Lépidoptères	Gelechiidae	<i>Sitotroga cerealella</i> (Olivier)
	Pyralidae	<i>Corcyra cephalonica</i> (Stainton)
Total	10	14

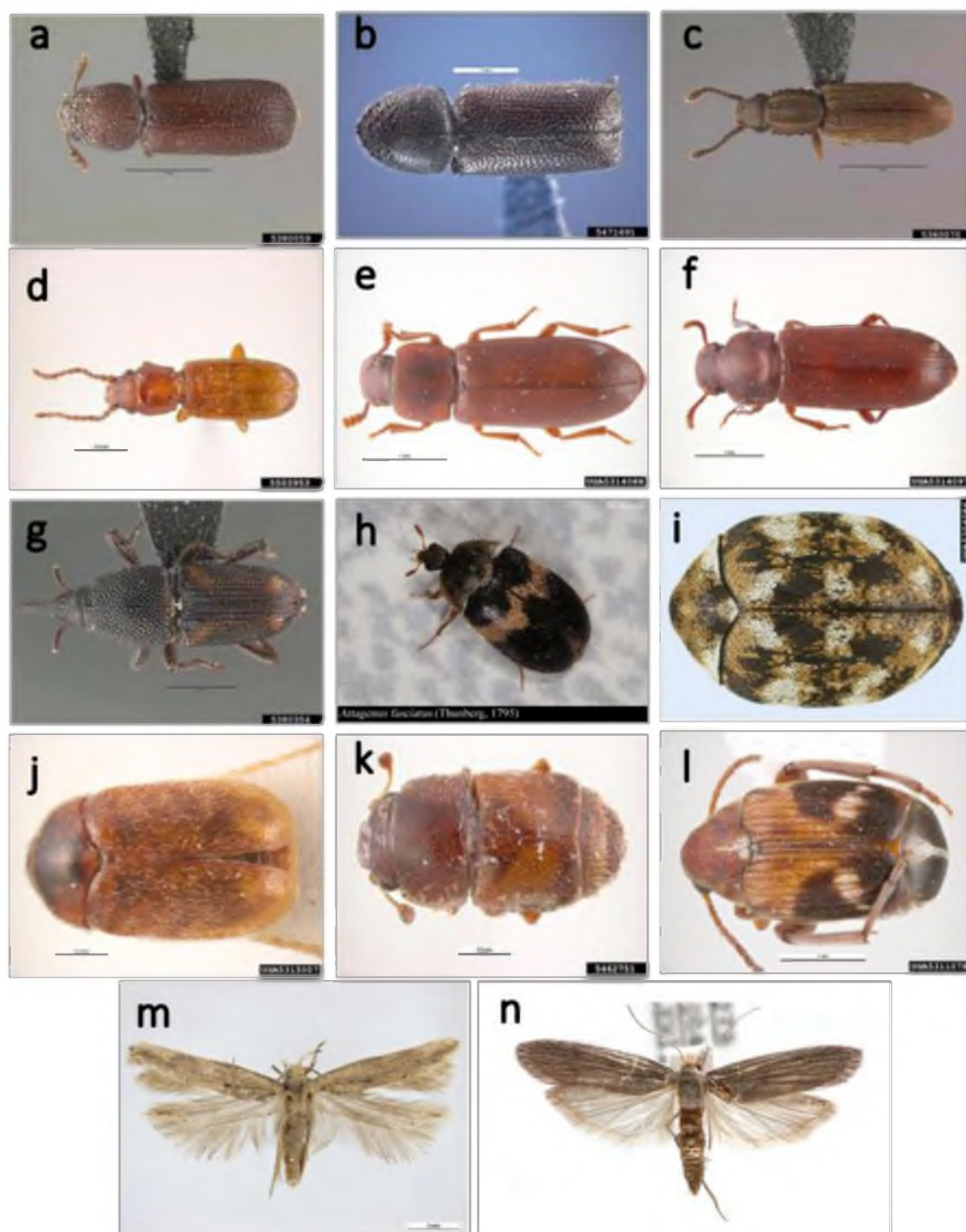


Figure 9 : Images des insectes identifiés : (a) *R. dominica* F., (b) *P. truncatus* H., (c) *O. mercator* F., (d) *C. ferrugineus* S., (e) *T. castaneum* H., (f) *T. confusum* J., (g) *S. zeamais* M., (h) *A. fasciatus* T., (i) *A. verbasci* L., (j) *T. granarium* E., (k) *C. dimidiatus* F., (l) *C. maculatus* F., (m) *S. cerealella* O., (n) *C. cephalonica* S. (Source : <http://www.forestryimages.org/>; <http://www1.ala.org.au/>)

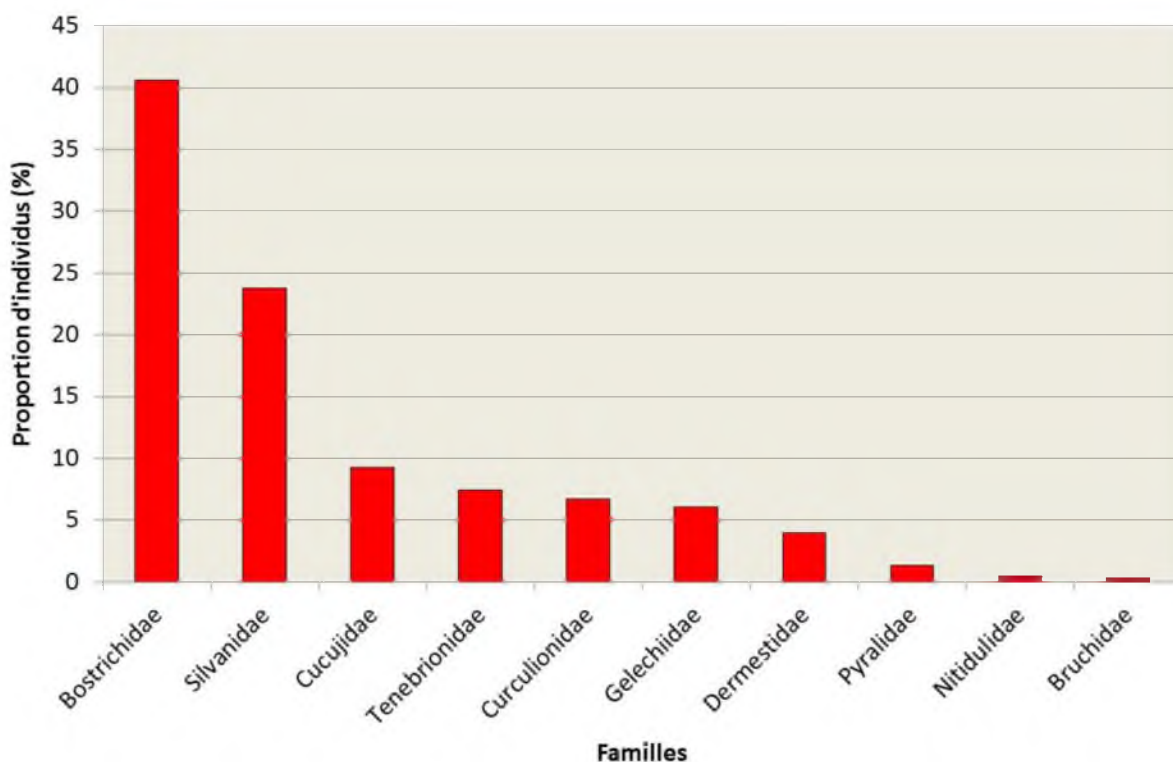


Figure 10 : Abondance des familles de ravageurs identifiés dans les stocks de sorgho

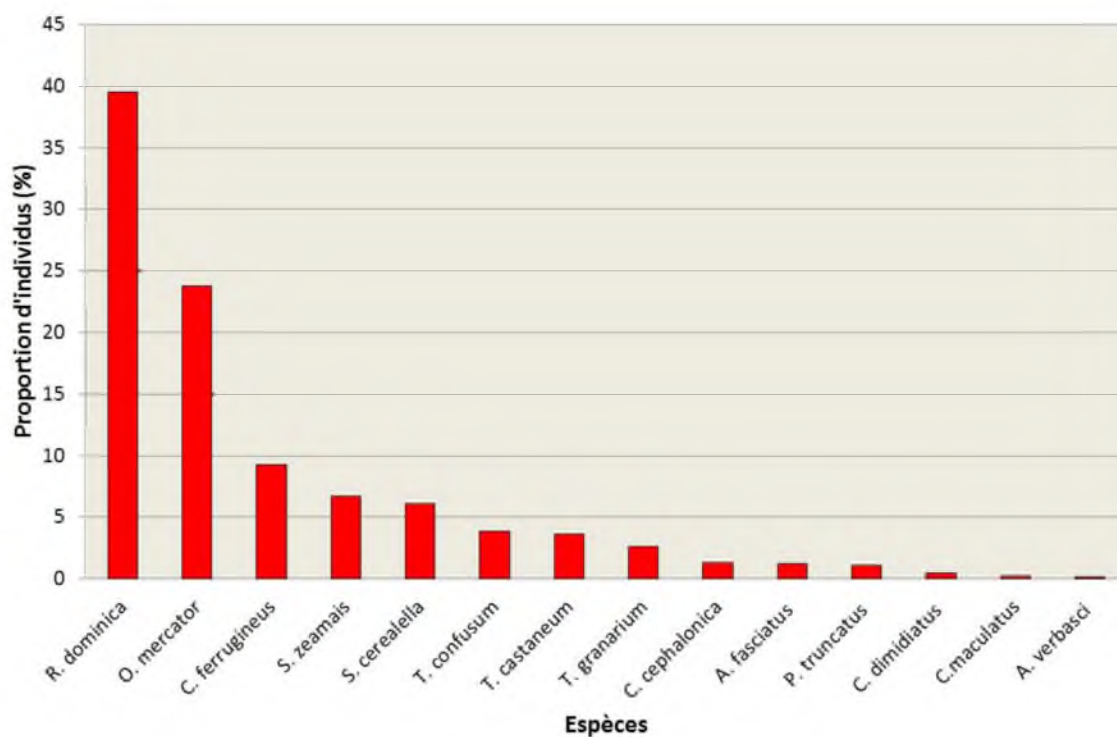


Figure 11 : Abondance spécifique des espèces d'insectes identifiées dans les stocks de sorgho

3.3.2. Analyse de l'effort d'échantillonnage

La courbe de raréfaction, basée sur les données accumulées dans la zone d'étude indique une richesse spécifique de 14 espèces (Figure 12). En plus, les indices de Jacknife 1 et de Chao & Boot donnent également une richesse spécifique de 14 espèces. Ceci indique que le nombre probable d'espèces qui pourraient être identifiées dans la zone d'étude a été atteint.

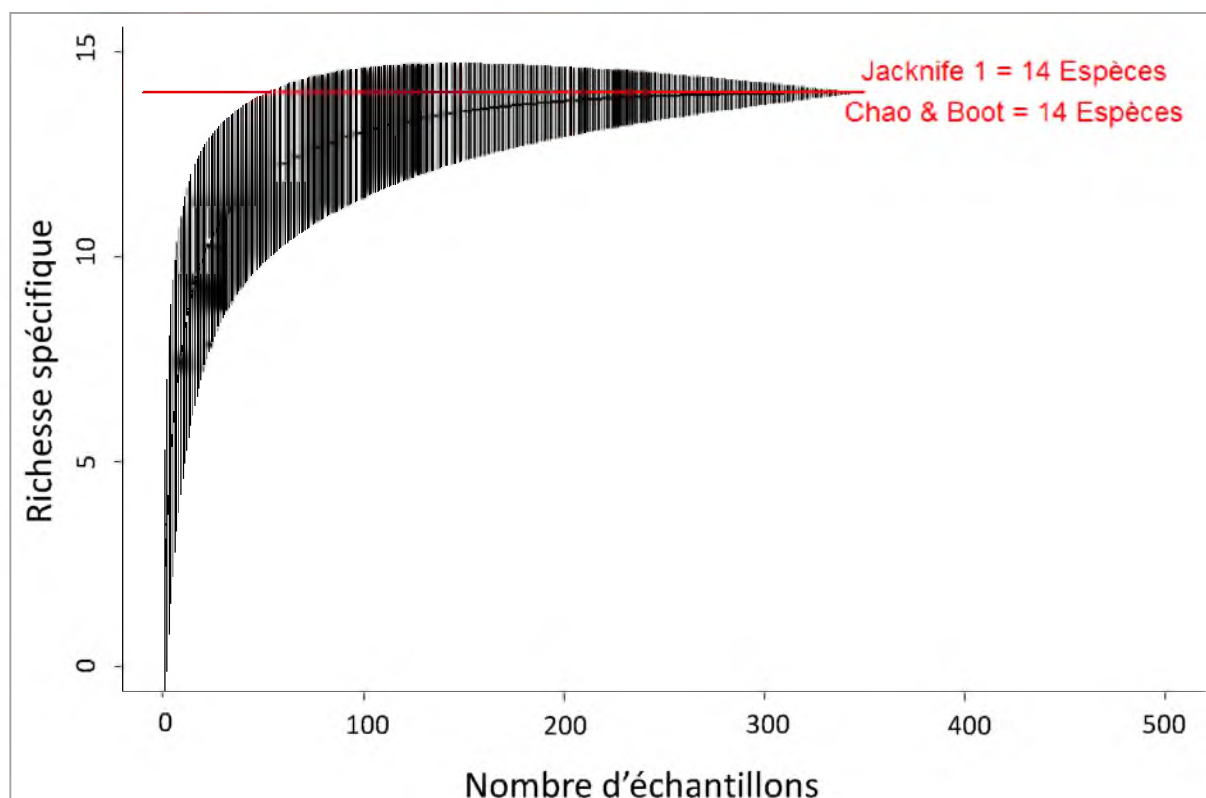


Figure 12 : Richesse spécifique probable des insectes ravageurs des stocks de sorgho dans la zone Nord-soudanienne Burkina Faso

3.3.3. Indice d'occurrence et les fluctuations temporelles du peuplement d'insectes ravageurs

L'indice d'occurrence des différentes espèces de ravageurs a augmenté entre le début du stockage en janvier et la fin, en septembre (Figure 13). En janvier, *R. dominica* était la seule espèce constante, et la seule espèce secondaire était *Oryzaephilus mercator* tandis que les autres

ravageurs étaient accidentels (Figure 13). En septembre, en plus de *R. dominica*, *O. mercator* est devenu une espèce constante, tandis que *Cryptolestes ferrugineus* et *Sitophilus zeamais* sont devenus des espèces accessoires. Les Coléoptères, *R. dominica* et *O. mercator* ont eu les indices d'occurrence les plus élevés pour les deux périodes d'observation. *Sitotroga cerealella* a l'indice d'occurrence le plus élevé pour les Lépidoptères (Figure 13).

De mai à septembre, les espèces d'insectes ravageurs ont augmenté significativement en terme d'abondance ($\chi^2 = 97.6669$, $df = 4$, $p \leq 0.001$), richesse en espèces ($\chi^2 = 76.6125$, $df = 4$, $p \leq 0.001$) et diversité des espèces ($\chi^2 = 67.9418$, $df = 4$, $p \leq 0.001$) (Figure 14). Cependant l'indice d'équitabilité n'a pas augmenté significativement ($\chi^2 = 11.9985$, $df = 4$, $p > 0.05$) durant cette même période (Figure 14).

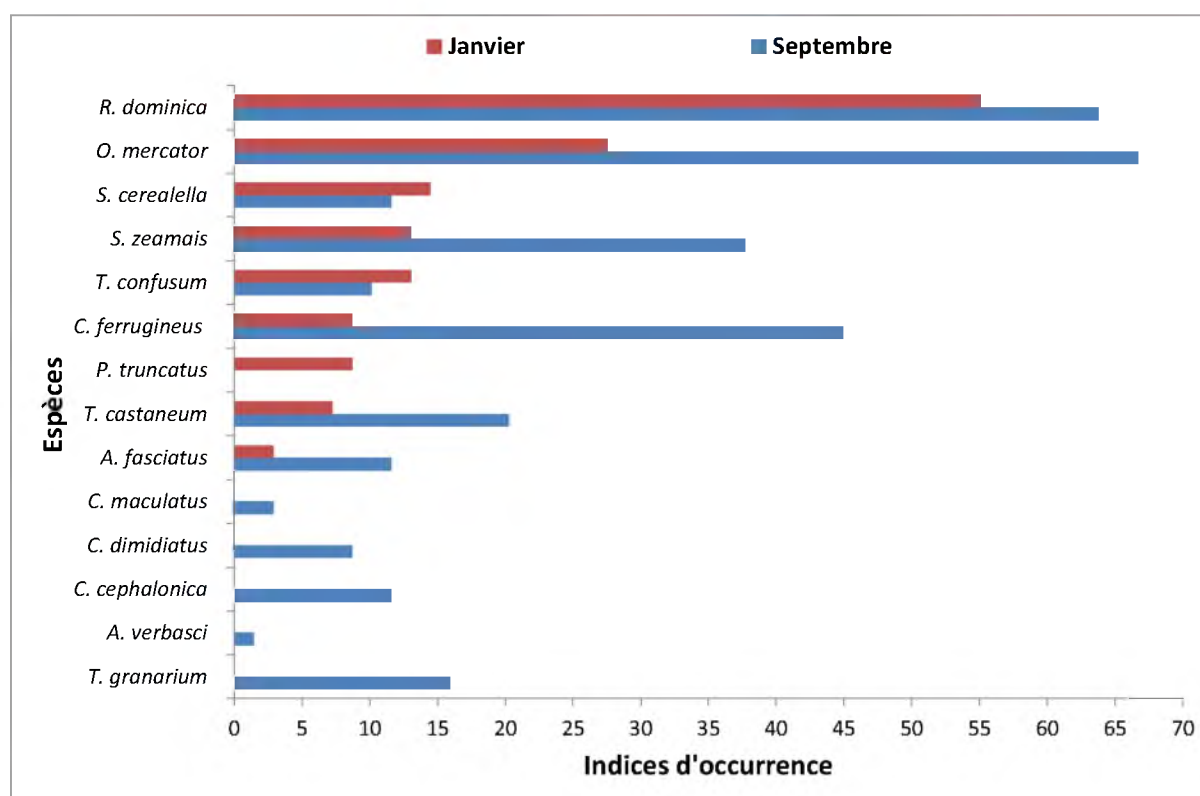


Figure 13 : Indices d'occurrence des insectes ravageurs des stocks de sorgho obtenus en janvier et en septembre de la période de stockage dans la zone Nord-Soudanienne au Burkina Faso.

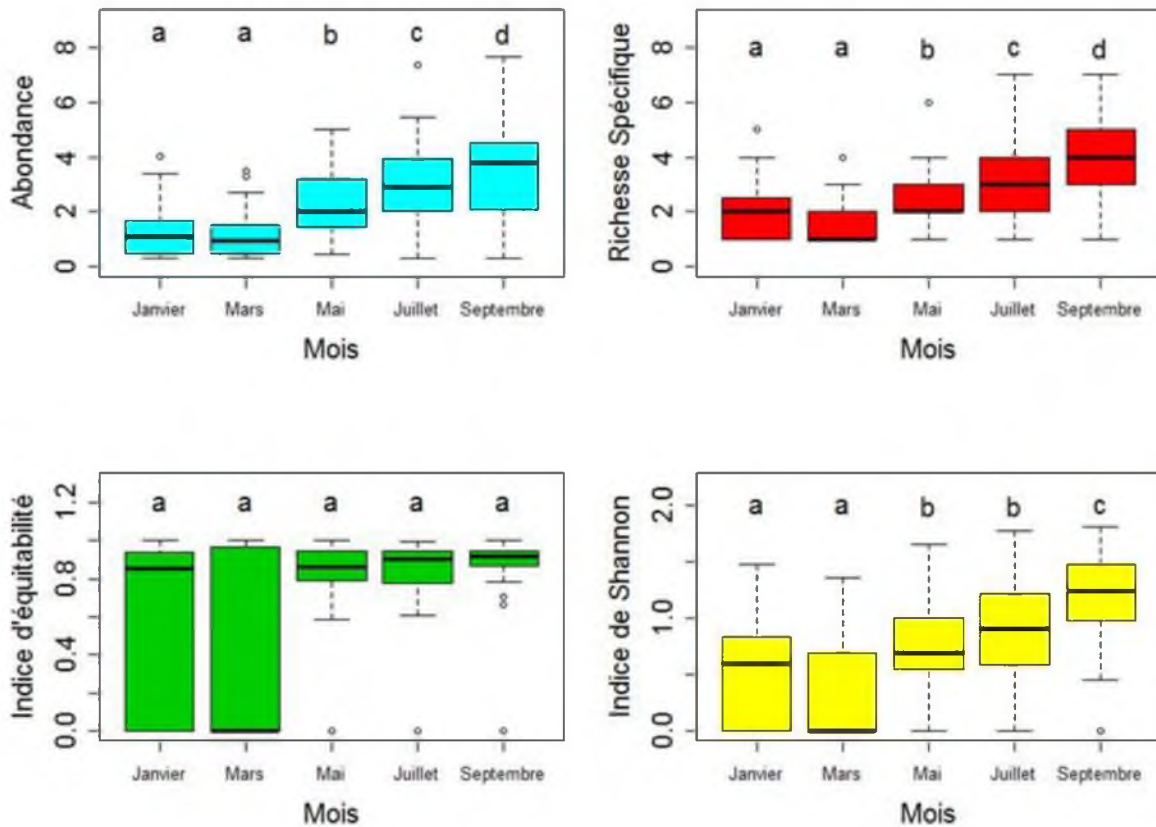


Figure 14 : Variation temporelle de l'abondance des espèces, de la richesse spécifique, de l'indice de diversité de Shannon et de l'indice d'équitabilité dans les stocks de sorgho de janvier à septembre 2011 dans la zone Nord-soudanienne au Burkina Faso.

3.3.4. Impact de la couleur des grains et du type de structure de stockage sur le peuplement d'insectes ravageurs des stocks de sorgho

Les espèces d'insectes ravageurs étaient significativement abondantes ($W = 7151,5$; $p = 0,046$), riches ($W = 7028,5$; $p = 0,024$) et diversifiées ($W = 6953,5$; $p = 0,019$) sur les grains de sorgho de couleur rouge (Figure 15). Cependant la couleur du grain de sorgho n'affecte pas significativement l'homogénéité des espèces ($W = 7,574$; $p = 0,181$) (Figure 15).

La richesse spécifique des insectes ravageurs ($W = 6,379$; $p = 0,003$), la diversité ($W = 0,9125$; $p \leq 0,001$), et l'homogénéité ($W = 6,835$; $p = 0,033$) étaient significativement plus

élevées sur les grains de sorgho stockés dans les greniers en paille (Figure 16). Cependant, le type de grenier n'a pas affecté significativement l'abondance des espèces ($W = 7,297$; $p = 0,1744$) (Figure 16).

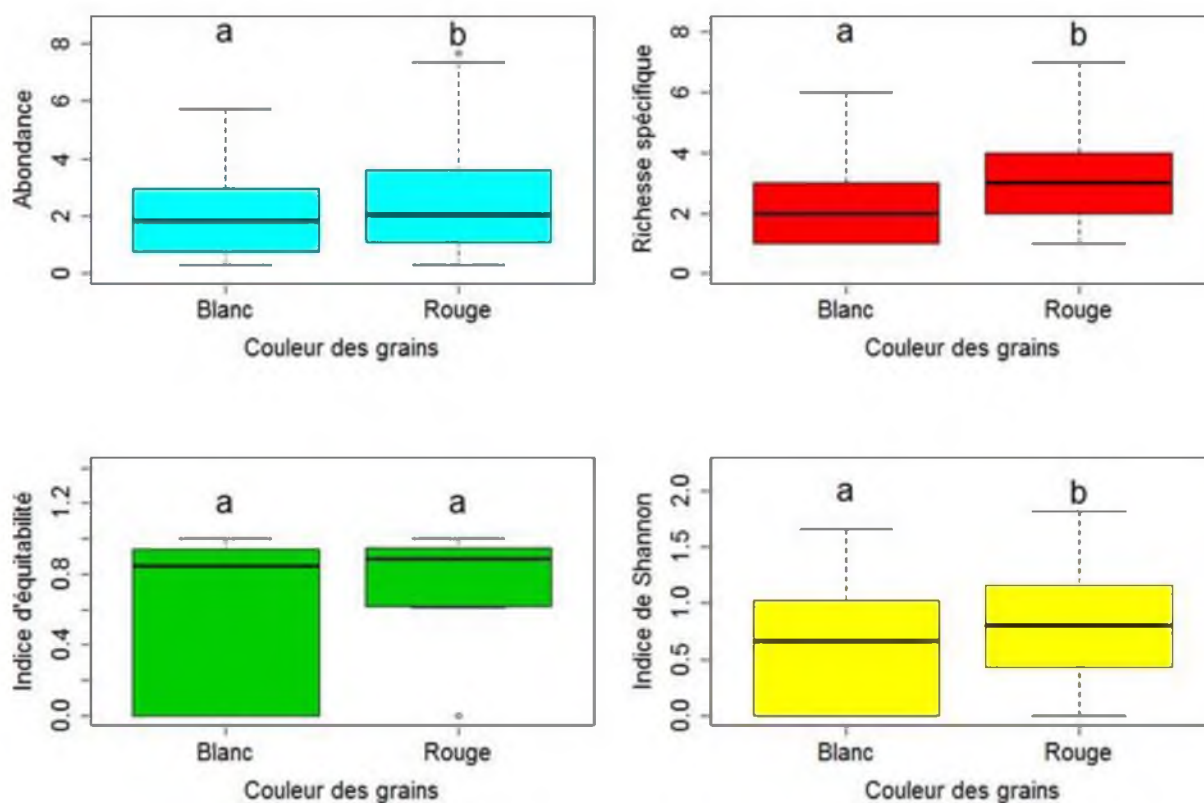


Figure 15 : Abondance des espèces d'insectes ravageurs, la richesse spécifique, l'indice de Shannon et l'indice d'équitabilité sur sorgho de grains rouges et le sorgho de grains blancs stockés dans la zone Nord-soudanienne au Burkina Faso.

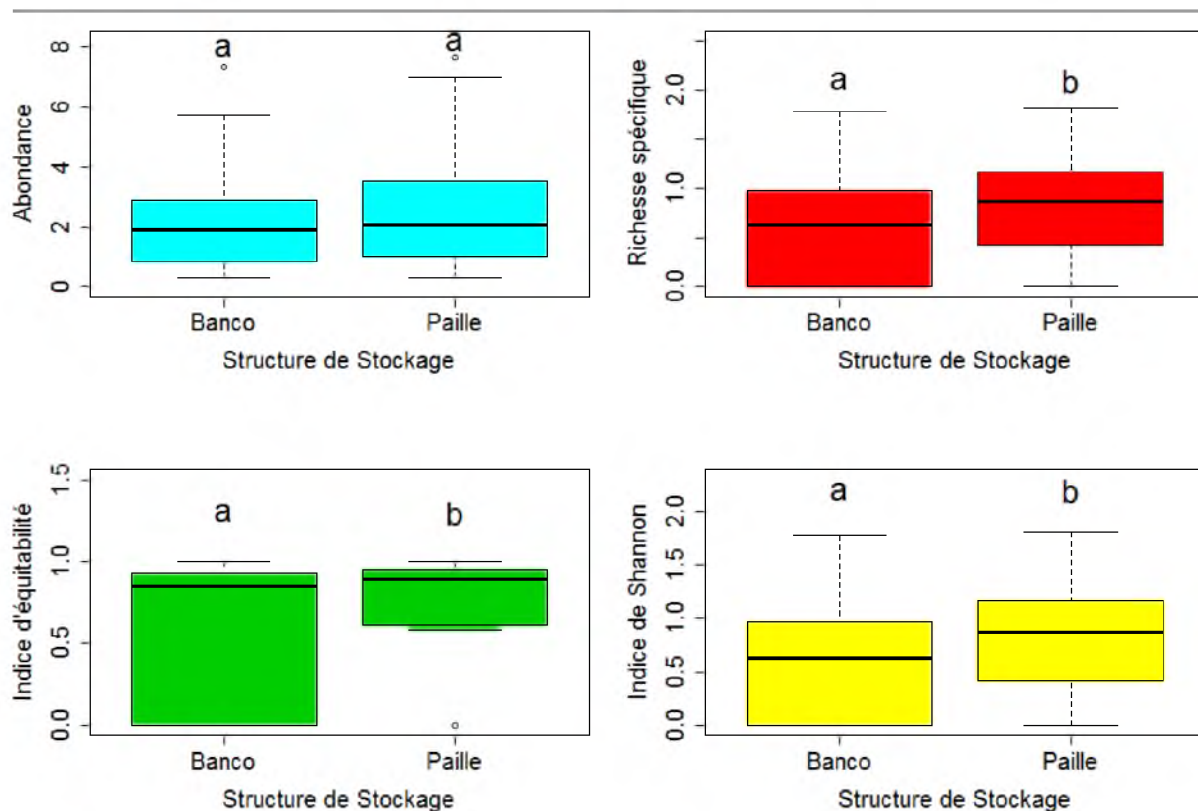


Figure 16 : Abondance des espèces d'insectes ravageurs, la richesse spécifique, l'indice de Shannon et l'indice d'équitabilité dans les greniers en Banco et les greniers en paille dans la zone nord-soudanienne au Burkina Faso.

3.3.5. Structure du peuplement des insectes ravageurs des stocks de sorgho

Les insectes ravageurs des stocks ont été divisés en deux groupes après classification hiérarchique (Figure 17). Le premier groupe comprend quatre espèces appartenant toutes à l'ordre des Coléoptères. Ce sont : *R. dominica*, *O. mercator*, *S. zeamais* et *C. ferrugineus*. C'est le groupe des espèces les plus abondantes. Le deuxième groupe comprend 8 espèces de coléoptères et 2 espèces de lépidoptères (Figure 17). Ce sont des ravageurs mineurs (*P. truncatus*, *T. castaneum*, *T. confusum*, *A. fasciatus*, *A. verbasci*, *T. granarium*, *C. dimidiatus*, *C. maculatus*, *S. cerealella* et *C. cephalonica*).

La figure 18 montre l'ajustement de la distribution des insectes ravageurs des stocks de sorgho à cinq (05) modèles de distribution. La valeur de l'AIC la plus basse a été enregistrée avec le modèle de Mandelbrot (AIC=210,13). Ce modèle est le plus représentatif de la distribution des insectes ravageurs des stocks de sorgho (Figure 18).

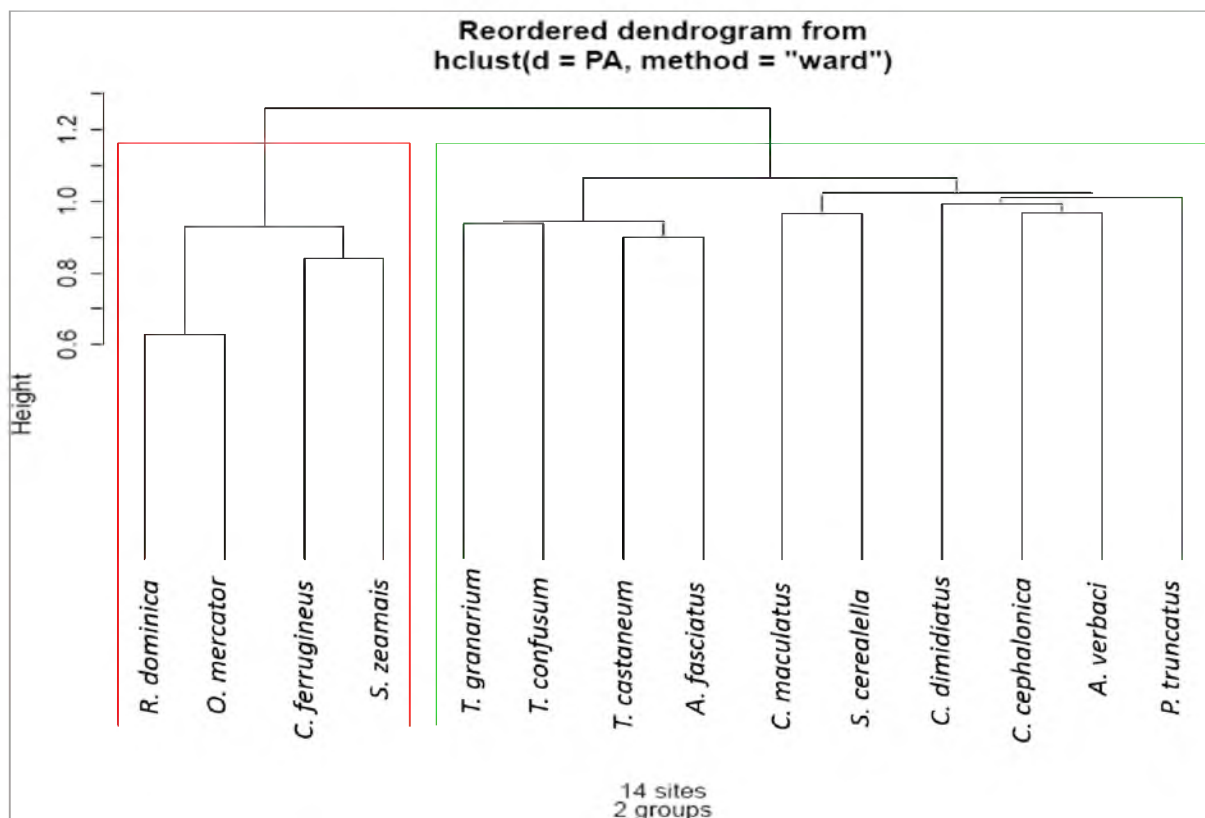


Figure 17 : Classification hiérarchique des insectes ravageurs des stocks de sorgho dans la zone nord-soudanienne du Burkina Faso

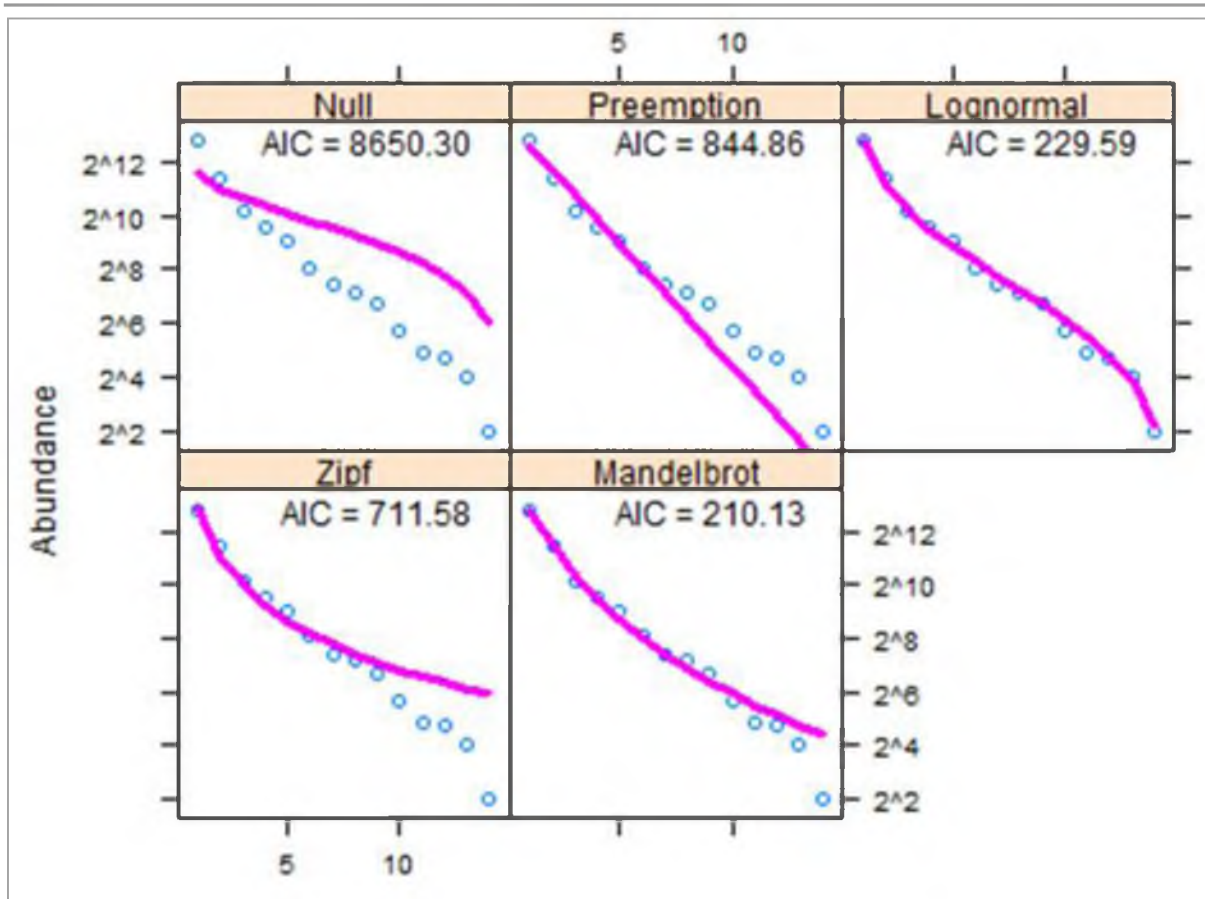


Figure 18 : Ajustement de la distribution des insectes ravageurs des stocks de sorgho à cinq (5) modèles de distribution

3.4. Discussion

Dans la zone Nord-soudanienne du Burkina Faso, les stocks de sorgho sont colonisés par 14 espèces d'insectes ravageurs incluant des Coléoptères et des Lépidoptères. Ces insectes s'établissent dans les stocks depuis le début jusqu'à la fin de la période de stockage. Cette richesse spécifique est plus élevée comparativement à d'autres études réalisées en Afrique et qui ont permis d'identifier 6 à 12 espèces (Ratnadass, 1990 ; Lavigne, 1991 ; Waongo *et al.*, 2013 ; Tamgno et Ngamo, 2013). En dehors de l'emplacement géographique, les différences peuvent être dues au nombre élevé d'échantillons prélevés ou à la méthodologie qui a été

utilisée. Les résultats rapportés par certains auteurs (Tamgno et Ngamo, 2013 ; Waongo et *al.*, 2013) indiquent un maximum de 40 à 54 échantillons prélevés une fois ou sur une période maximale de quatre mois, alors que notre étude a porté sur 9 mois avec un total de 300 échantillons. Notre étude comprenait en outre, un nombre beaucoup plus élevé de sites d'échantillonnage comparativement aux travaux de Ratnadass et *al.* (1994), ce qui augmente le potentiel de la diversité selon Fargo et *al.* (1989) et Elmoultie et *al.* (2010). Ces auteurs stipulent que plus la durée d'échantillonnage est longue et porte sur un nombre important d'échantillons, la probabilité d'enregistrer plus d'espèces d'insectes est plus élevée.

Lorsque l'on analyse la structure et l'organisation du peuplement des insectes ravageurs des stocks de sorgho, deux groupes peuvent être distingués : i) les ravageurs mineurs qui comprennent 10 espèces et ii) le groupe des espèces les plus abondantes comprenant *R. dominica*, *O. mercator*, *S. zeamais* et *C. ferrugineus*. Des études antérieures réalisées dans différentes régions de par le monde ont montré que *R. dominica*, *S. zeamais* et *O. mercator* sont les principaux ravageurs des grains stockés (Loschiavo et Smith, 1970 ; Hoppe, 1986; Jood et *al.*, 1996; Belda et Riudavets, 2010; Carvalho et *al.*, 2013). *Rhyzopertha dominica* était l'espèce la plus fréquente et la plus abondante dans les stocks de sorgho au Burkina Faso. C'est le principal ravageur du sorgho et il a également été identifié comme tel dans plusieurs régions d'Afrique (Seifelnasr, 1992 ; Ratnadass et *al.*, 1994 ; Mvumi et *al.*, 2002). *Oryzaephilus mercator* et *C. ferrugineus* classés respectivement deuxième et troisième en termes d'abondance, et suivant la saison, ont leur indice d'occurrence qui augmente lorsque celui de *R. dominica* augmente également. Cela suggère que *R. dominica* favorise l'établissement de *O. mercator* et *C. ferrugineus* dans les stocks de sorgho. Ce sont des ravageurs secondaires typiques comme cela a été signalé par certains auteurs (Delobel et Tran, 1993 ; Mukherjee et Nandi, 1993 ; Nansen et *al.*, 2009). La capacité d'un ravageur secondaire à s'établir dans les stocks dépend des dommages causés par les ravageurs primaires qui attaquent le tégument du

grain, perforent la graine et provoquent des dépôts de farines permettant aux ravageurs secondaires de s'installer dans les grains et le stock. L'hypothèse selon laquelle la colonisation des stocks s'effectue par vagues successives est soutenue par le modèle de distribution de Mandelbrot mis en évidence dans cette étude. Selon la théorie de distribution de Mandelbrot (Bastow, 1991), la colonisation d'un habitat donné par une espèce de la population est basée sur la présence antérieure de certaines espèces (espèces pionnières) et les conditions créées par ces dernières. Les espèces pionnières comme *R. dominica* sont donc des ravageurs primaires en raison de la gravité de leurs dommages qui conduisent à l'établissement des ravageurs secondaires tels que *O. mercator* et *C. ferrugineus*. Cette colonisation successive des stocks pourrait expliquer l'augmentation significative des paramètres de la diversité (abondance, richesse des espèces et l'indice de Shannon) et l'homogénéité de l'environnement depuis le début (janvier) jusqu'à la fin de la période d'étude (septembre). En effet, selon Nansen et *al.* (2009) par rapport à d'autres habitats, naturels ou artificiels, un silo rempli de grains constitue un habitat assez homogène dans lequel la disponibilité de nourriture pour de nombreux insectes ravageurs est illimitée. En plus de la colonisation successive des stocks par différents insectes ravageurs, les conditions climatiques pourraient expliquer l'augmentation significative de la diversité de mai jusqu'à la fin de la période des observations en Septembre. Les mois de mai et de septembre sont respectivement précédés par un pic de température en avril (34,1 ° C) et un pic d'humidité relative en août (76%). Selon plusieurs auteurs, la température et l'humidité relative sont des facteurs clés dans le cycle de développement d'un insecte (Fields, 1992 ; Delobel et Tran, 1993 ; Ouedraogo et *al.*, 1996 ; Throne et Weaver, 2013).

La diversité des insectes nuisibles dans les greniers des agriculteurs a été influencée par la couleur des grains de sorgho. L'abondance spécifique était significativement plus élevée sur la variété de sorgho à grains rouges comparativement au sorgho à grains blancs.

Les préférences variétales des insectes ravageurs des stocks de sorgho ont été rapportées par plusieurs auteurs (Krishnamurthy et *al.*, 1978 ; Adetunji, 1988 ; Chuck-Hernández et *al.*, 2013 ; Shehzad et *al.*, 2014). Les différences peuvent être dues à des propriétés physiques et à la composition chimique des variétés (Russell, 1966 ; Ratnadass et *al.*, 1994 ; Chandrashekar & Satyanarayana, 2006 ; Ramputh et *al.*, 2009). Selon Barro-Kondombo et *al.* (2008), les variétés locales de sorgho à grains rouges ont en général des grains mous. La sensibilité des grains mous aux insectes ravageurs a également été signalée sur des cultivars de sorgho au Mali (Ratnadass et *al.*, 1994). Sur d'autres denrées, la dureté des grains indique également une résistance aux insectes ravageurs des stocks (Arnason, 1994 ; Odeyemi et Daramola, 2000 ; Nawrot et *al.*, 2006).

En plus des variétés de sorgho, le type de structure de stockage a également influencé la diversité des insectes ravageurs. L'effet de la structure de stockage sur les insectes ravageurs des stocks de sorgho a été démontré auparavant par certains auteurs (Shazali et *al.*, 1996 ; Shazali et Ahmed, 1998). Le nombre d'espèces d'insectes enregistrées sur les grains de sorgho stockés dans les greniers en paille était plus élevé que celui obtenu dans les grains de sorgho stockés dans les greniers en banco. Contrairement au grenier en banco, qui constitue un environnement confiné, le grenier en paille permet la circulation de l'air. Le renouvellement permanent de l'air ambiant dans les greniers en paille favorise un meilleur développement des insectes nuisibles. Une autre hypothèse sur la préférence des greniers en paille par les ravageurs pourrait être l'accessibilité des ravageurs de tout type à la paille à cause de sa structure. Ainsi, les insectes peuvent y pénétrer de partout, ce qui n'est pas le cas du grenier en banco qui est plus hermétique au niveau de ses parois sauf vers l'ouverture.

3.5. Conclusion partielle

Cette étude, à travers le suivi de la dynamique de populations de ravageurs dans les stocks paysans, met en lumière une colonisation successive des stocks par les ravageurs et porte un accent particulier sur l'importance des ravageurs primaires (pionniers) dans l'infestation des stocks. Par ailleurs plusieurs facteurs influencent la diversité des ravageurs des stocks en milieu paysan. Il s'agit du type de structure de stockage, de la couleur des grains et des facteurs environnementaux (température et humidité relative). Ces données pourraient être utilisées dans l'optique de l'élimination des espèces primaires réduisant ainsi le taux d'établissement des ravageurs secondaires et par la même occasion les dégâts qu'ils occasionnent. Au regard des résultats de cette étude, les domaines suivants sont à investiguer :

- Considérant que la couleur des grains de sorgho affecte la diversité des ravageurs, le criblage variétal pourrait être exploité comme moyen de lutte contre *R. dominica* ;
- Considérant que la diversité des ravageurs est moindre dans le grenier en banco qui constitue un milieu relativement pauvre en oxygène comparativement au grenier en paille, le stockage hermétique pourrait être aussi une piste à explorer pour contrôler *R. dominica*.

Pour une meilleure exploitation des pistes dégagées pour une gestion durable et efficace du ravageur au Burkina Faso, il s'avère utile de mieux connaître les conditions d'infestation des grains de sorgho par *R. dominica* et sa biologie afin d'établir son potentiel biotique. Ainsi, le chapitre suivant sera consacré à l'étude de quelques paramètres biologiques de l'insecte.

Chapitre IV : ETUDE DE QUELQUES ASPECTS DE LA BIOLOGIE ET DE L'ÉCOLOGIE DE *R. DOMINICA*

4.1. Introduction

Les études sur les paramètres écologique et biologique d'un ravageur constituent une étape nécessaire et indispensable pour développer des méthodes de lutte. Les travaux du chapitre précédent ont montré que *R. dominica* était une espèce pionnière dans l'infestation des grains de sorgho durant le stockage. Selon Hagstrum (2001), l'infestation trouve rarement son origine au champ, mais se ferait dans les greniers à partir des populations résiduelles au sein des greniers (Reed et al., 2003). Selon plusieurs auteurs, l'adulte de *R. dominica* est bon volier capable de se déplacer sur des kilomètres (Aslam et al., 1994 ; Trône et Cline 1994 ; et Edde et al., 2005). Certains auteurs ont capturé des individus de *R. dominica* dans des habitats naturels situés à des kilomètres de structure de stockage de grains (Jia et al., 2008 ; Edde et al., 2005 ; Toews et al., 2006). Cette activité de vol n'exclurait pas l'hypothèse selon laquelle l'infestation des grains de sorgho par *R. dominica* pourrait se faire avant l'introduction des grains dans les structures de stockage.

La biologie de *R. dominica* a été étudiée par plusieurs auteurs sur des denrées comme le blé (Birch, 1945 ; Howe, 1950 ; Potter, 1935) et le sorgho (Thompson, 1966). 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° à 34°C. Ces résultats montrent que les paramètres biologiques de *R. dominica* peuvent varier selon la nature du substrat et les conditions du milieu. De plus, l'étude des paramètres biologiques de *R. dominica* sur le sorgho n'a pas encore été menée dans les conditions naturelles au Burkina Faso. Aussi, les résultats obtenus dans le chapitre trois ont montré que les insectes ravageurs, en

particulier *R. dominica* était capable de se maintenir et se développer sur les variétés locales de sorgho sans pour autant donner des informations précises sur son mode de développement. Par ailleurs, la couleur des grains de sorgho a eu un effet sur la diversité des ravageurs. La question que l'on se pose est de savoir si les paramètres biologiques de *R. dominica* sont les mêmes sur le sorgho à grains blancs et rouges. Pour le cas spécifique des ravageurs des stocks, l'étude de certains paramètres clés s'avère utile pour mieux évaluer la sensibilité d'une denrée aux attaques et/ou l'impact du ravageur (Widstrom et al., 1972 ; Chijindu et al., 2008, Park et al., 2008). Ces paramètres clés sont : la durée de développement, le poids moyen d'un individu de la première génération (F1), le sex-ratio, la fécondité, la longévité des adultes et le taux d'accroissement de la population.

Dans ce chapitre, en plus d'investiguer sur les conditions d'infestation initiale des grains de sorgho par *R. dominica*, ses paramètres biologiques ont été évalués sur deux variétés locales à savoir une variété à grains rouges et une variété à grains blancs.

4.2. Méthodologie

4.2.1. Pratiques paysannes post récolte et conditions d'infestation initiale des grains de sorgho par *R. dominica* F.

La caractérisation des pratiques paysannes post récolte a été réalisée en effectuant des entretiens individuels avec 45 producteurs du village de Gampela à l'aide d'un guide d'entretien. Le guide d'entretien a porté sur deux points à savoir : les pratiques paysannes depuis la récolte jusqu'au stockage et la perception des producteurs sur les sites éventuels d'infestation initiale des grains de sorgho par les insectes.

A l'issu des entretiens, nous avons procédé à un prélèvement direct de quatre (4) panicules de sorgho auprès des quinze (15) producteurs pour chaque site identifié. Les sites identifiés ont été les champs, les hangars et les greniers. Au total 45 échantillons de sorgho ont été récoltés au niveau de chaque site. Les échantillons ont été étiquetés et placés dans un sac en tissu de dimension 40 x 20 cm. Une fois au laboratoire tous les échantillons ont été tamisés et les individus adultes ont été recueillis et conservés dans de l'alcool à 70° en vue de leur identification. Pour observer les émergences des stades immatures, les échantillons ont été placés en observation sur une période de huit (08) semaines dans des boites rectangulaires en plexiglas (dimension : L = 17 cm ; l = 11 cm ; h = 4 cm). Les individus de *R. dominica* émergeant ont été identifiés et dénombrés.

4.2.2. Durée de développement, poids moyen d'un individu de la première génération (F1) et sex-ratio de *R. dominica*

Vingt (20) individus adultes de *R. dominica* nouvellement émergés ont été placés au contact de 10 g de chacune des deux variétés locales de sorgho pendant 48 heures pour ponte. 15 répétitions ont été constituées pour chaque variété. Au bout des 48 heures, les individus sont retirés à l'aide d'une pince souple et les échantillons placés en observation jusqu'à l'émergence des adultes. Les dates d'infestation et d'émergence ont été consignées en vue de déterminer la durée de développement. Tous les individus nouvellement émergés ont été pesés afin de déterminer le poids moyen d'un individu de la première génération (F1).

Dans le but de déterminer le sex-ratio, les individus nouvellement émergés de chaque répétition du test précédent ont été également maintenus sur 10 g de leur spéculatation d'origine pendant 48 heures pour accouplement.

A l'issue de cette période, les individus sont placés individuellement dans des boîtes de Pétri contenant 20 grains du substrat d'origine pendant 48 heures afin d'observer les pontes. Les individus contenus dans les boîtes de Pétri présentant des pontes ont été considérés comme des femelles tandis que les individus de celles n'ayant pas de pontes comme des mâles. Ainsi, le nombre de mâles et de femelles a été estimé afin de déterminer la sex-ratio selon la formule suivante (Doutt, 1959 ; Fujii et Wai, 1990) :

$$\text{Sex - ratio} = \frac{\text{Nombre de mâles}}{\text{Nombre de femelles}}$$

4.2.3. Fécondité et longévité des adultes de *R. dominica*

Vingt (20) individus adultes de *R. dominica* nouvellement émergés et non sexés ont été placés au contact de 10 g de chacune des deux variétés locales de sorgho pendant sept jours pour ponte. Quinze (15) répétitions sont constituées pour chaque variété. Les individus nouvellement émergés de chaque répétition sont retirés et placés sur 10g de grains de leur substrat d'origine pendant 48 heures pour accouplement. Les insectes sont ensuite placés individuellement dans des boites de Pétri contenant 20 graines du substrat d'origine. Le substrat est renouvelé quotidiennement jusqu'à la mort de l'individu. Le nombre total d'œufs pondus par femelle est consigné périodiquement et la durée de vie des mâles et des femelles a été déterminée.

4.2.4. Taux d'accroissement de la population de *R. dominica*

Le test a consisté à mettre 20 individus (population initiale) de *R. dominica*, nouvellement émergés, au contact de 100 g de grains de chacune des deux variétés, contenus dans des bouteilles de 0,25 l dont l'ouverture est recouverte d'un tissu moustiquaire maintenu par un

bracelet. Pour chaque variété, 5 répétitions ont été constituées. Les bouteilles sont ensuite placées en observation pendant une période de huit (08) semaines en condition de laboratoire. La température et l'humidité relative ont été notées tous les jours durant toute la période du test. Au terme de la période d'observation, la population finale est dénombrée afin de déterminer le taux d'accroissement (Ta) de *R. dominica* selon la formule suivante (Chuck-Hernández et al., 2013) :

$$Ta = \frac{\text{Population finale}}{\text{Population initiale}}$$

4.2.5. Analyses statistiques

Les données relatives aux conditions d'infestation du sorgho ont été soumises à une analyse de variance suivant le modèle de Kruskal - Wallis à l'aide de la fonction `kruskal.test` du logiciel R. Cette analyse de variance a été suivie d'une comparaison des moyennes deux à deux suivant le modèle de Wilcoxon à l'aide de la fonction `pairwise.wilcox.test` au seuil de probabilité de 5%. Les différents paramètres biologiques mesurés ont fait l'objet d'une analyse de variance (ANOVA) en fonction des variétés avec le logiciel SAS (Statistical Analysis System) version 9 (2003). Lorsque les ANOVA étaient significatives les moyennes étaient comparées à l'aide du test de Student-Newman-Keuls. Pour les deux tests, le seuil de probabilité était de 5%.

4.3. Résultats

4.3.1. Pratiques paysannes depuis la récolte jusqu'à la mise en stock

A maturité, les panicules de sorgho sont acheminées au niveau des concessions au moyen d'une charrette ou dans des plats par les femmes et les enfants. A ce niveau les panicules sont disposées sur un hangar soit pour terminer le séchage ou en attendant la finition du nouveau grenier. Au terme de cette période, les panicules sont transférées dans le grenier (Figure 19). Selon les producteurs interviewés, l'infestation initiale des grains de sorgho par les insectes interviendrait au niveau des sites suivants : champ, hangar et grenier (Figure 19).

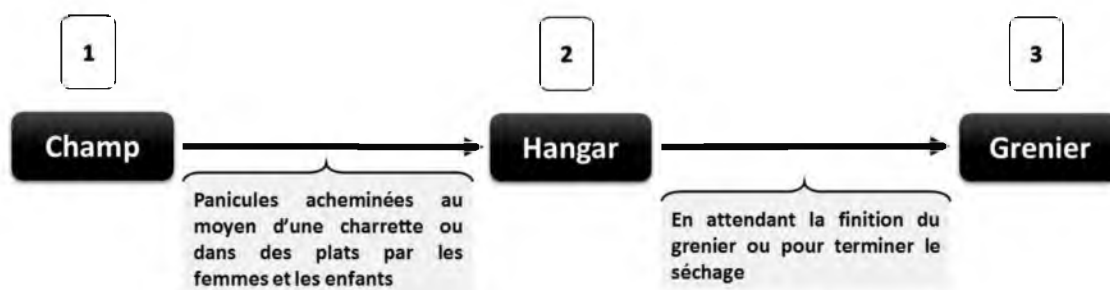


Figure 19 : Sites probables d'infestation du sorgho par *R. dominica* F.

4.3.2. Condition d'infestation initiale du sorgho par *R. dominica* F.

L'analyse au laboratoire des échantillons prélevés auprès des producteurs a montré que *R. dominica* était absent des échantillons provenant des champs. Par contre, il a été rencontré dans les échantillons provenant des hangars et des greniers (Figure 20). L'abondance moyenne des individus observés varie significativement en fonction du site d'échantillonnage ($p = 0,014$). Le nombre moyen d'individus observés au niveau du hangar est significativement plus élevé que celui observé dans les greniers.

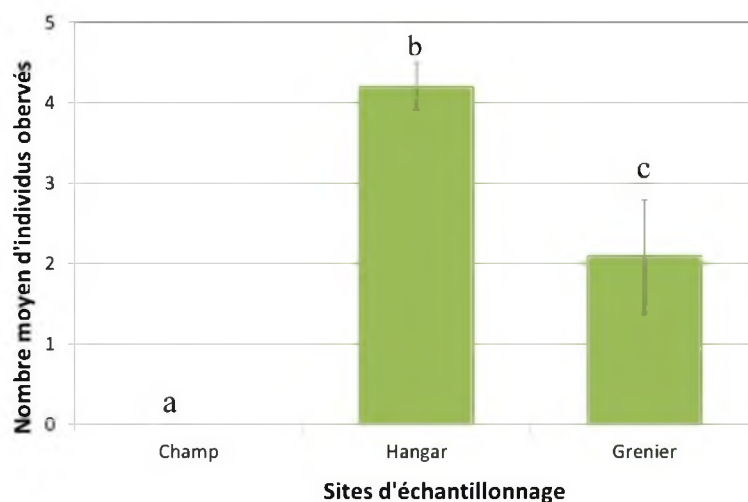


Figure 20 : Abondance moyenne de *R. dominica* F. en fonction des sites de prélèvement dans le village de gampela

4.3.3. Durée de développement

Le tableau 5 présente la durée de développement de *R. dominica* et le poids moyen des individus sur deux variétés locales de sorgho. La durée de développement de l'œuf à l'adulte ne diffère pas significativement d'une variété à l'autre ($P=0,0581$). Le poids moyen d'un individu de *R. dominica* est significativement plus élevé ($P=0,0004$) sur la variété locale rouge de sorgho en comparaison avec la locale blanche (tableau 5).

Tableau 5 : Durée de développement et poids moyen de *R. dominica* F. placé sur le sorgho rouge et sur du sorgho blanc.

Variétés	Durée de développement (jours)	Poids moyen d'un individu (mg)
Locale blanche	43,267 ± 3,369 ^A	1,0183 ± 0,024323 ^B
Locale rouge	40,8 ± 3,468 ^A	1,1225 ± 0,098413 ^A
<i>P-value</i>	0,0581	0,0004

Les moyennes ± écart types ayant les mêmes lettres alphabétiques en majuscule dans la même colonne ne sont pas significativement différentes d'après le test de Student-Newman-Keuls ($\alpha = 0,05$).

4.3.3. Sex-ratio

Le sex-ratio est en faveur des femelles pour les deux variétés locales de sorgho (Tableau 6). Toutefois, les sex-ratios sont significativement différents au sein des deux populations issues des variétés de sorgho rouge et blanc ($P=0,0457$).

Tableau 6 : Sex-ratio de *R. dominica* F. placé sur le sorgho rouge et sur du sorgho blanc.

Variétés	Sex-ratio
Grains blancs	0,626 ± 0,361 ^B
Grains rouges	0,857 ± 0,229 ^A
<i>P-value</i>	0,0457

Les moyennes ± écart types ayant les mêmes lettres alphabétiques en majuscule dans la même colonne ne sont pas significativement différentes d'après le test de Student-Newman-Keuls ($\alpha = 0,05$).

4.3.4. Fécondité

Les pontes de *R. dominica* ne diffèrent pas significativement d'une variété à une autre. ($P=0,1570$) (Tableau 7). Les pontes de *R. dominica* varient de 46 à 485 œufs déposés sur la variété locale blanche et de 44 à 176 sur la variété locale rouge de sorgho.

Tableau 7 : Nombre moyen d'œufs de *R. dominica* placé sur du sorgho rouge et sur du sorgho blanc.

Variétés	Fécondité			
	Nombre de femelles pondeuses	Minimum	Maximum	Moyenne
Locale blanche	25	46	485	127,407 ± 96,889 ^A
Locale rouge	25	44	176	89,875 ± 48,358 ^A
<i>P-value</i>		-	-	0,1570

Les moyennes ± écart types ayant les mêmes lettres alphabétiques en majuscule dans la même colonne ne sont pas significativement différentes d'après le test de Student-Newman-Keuls ($\alpha = 0,05$).

4.3.5. Longévité des adultes

La durée de vie des adultes de *R. dominica* ne diffère pas significativement d'une variété à une autre ($P = 0,7767$ et $P = 0,6119$, respectivement pour les femelles et les mâles) (Tableau 8). Cependant, pour une variété donnée la durée de vie des mâles est significativement plus longue que celle des femelles ($P = 0,0075$ et $P = 0,0026$) respectivement pour la variété locale blanche et la variété locale rouge).

Tableau 8 : Durée moyenne de vie des mâles et des femelles de *R. dominica* F. placé sur du sorgho rouge et sur du sorgho blanc.

Variétés	Durée de vie des Femelles (jours)	Durée de vie des Mâles (jours)	P-value
Locale blanche	66,28 ± 26,42 ^{A b*}	89,90 ± 30,71 ^{A a*}	0,0075
Locale rouge	64,25 ± 9,39 ^{A b*}	95,92 ± 35,29 ^{A a*}	0,0026
P-value	0,7767	0,6119	-

Les moyennes ± écart types ayant les mêmes lettres alphabétiques en majuscule dans la même colonne ne sont pas significativement différentes d'après le test de Student-Newman-Keuls ($\alpha = 0,05$).

*Les moyennes ± écart types ayant les mêmes lettres alphabétiques en minuscule sur la même ligne ne sont pas significativement différentes d'après le test de Student-Newman-Keuls ($\alpha = 0,05$).

4.3.6. Taux d'accroissement de la population de *R. dominica*

L'accroissement de la population de *R. dominica* sur la variété locale rouge de sorgho est significativement plus important que sur la variété locale blanche de sorgho (Tableau 9 ; $P=0,0118$).

Tableau 9 : Taux d'accroissement de la population en fonction des variétés locales de sorgho (P_i = population initiale, P_f = population finale, T_a = taux d'accroissement)

Variétés	Pi	Pf	Ta
Locale Blanche	20	56 ± 9,874 ^B	2.8 ± 0,493 ^B
Locale Rouge	20	77 ± 10,583 ^A	3.85 ± 0,529 ^A
<i>P-value</i>	-	0,0118	0,0118

Les moyennes ± écart types ayant les mêmes lettres alphabétiques en majuscule dans la même colonne ne sont pas significativement différentes d'après le test de Student-Newman-Keuls ($\alpha = 0,05$).

4.4. Discussion

La détermination des conditions d'infestation des grains de sorgho par *R. dominica* a révélé que ce ravageur était absent des champs et présent au niveau des hangars (dispositif de séchage des grains de sorgho) et des greniers. Ces résultats suggèrent la présence du ravageur uniquement aux alentours des concessions. Les travaux de Jia et *al.* (2008) ont permis la capture d'individus de *R. dominica* dans les habitats naturels du Kansas aux Etats Unis, à l'aide de pièges à phéromone placés à plusieurs kilomètres des structures de stockage de grains. Ces individus ont été capturés sur des espèces de plantes appartenant aux familles des Poaceae, des Fabaceae, des Scrophulariaceae et des Rosaceae. De plus, ils ont démontré que ce ravageur était capable de se maintenir sur des hôtes alternatifs en absence de grains de céréales entreposés. En effet, selon Delobel et Tran (1993), les insectes regroupés au sein de la famille des Bostrichidae sont des xylophages, ce qui expliquerait leur capacité à se maintenir dans les habitats naturels. La présence de *R. dominica* dans les greniers et les hangars pourrait s'expliquer par la présence de populations résiduelles du ravageur au niveau des concessions. Selon Appert (1985b), l'infestation des grains par les insectes se ferait également à l'intérieur des structures de stockage mal nettoyées et non désinsectisées.

Les résultats de l'étude de quelques paramètres biologiques de *R. dominica* montrent qu'il est capable de se reproduire et se maintenir sur les variétés locales rouge et blanche de sorgho. La durée de développement observée sur les deux variétés locales de sorgho varie entre 40 et 43 jours tandis que les travaux de Thompson en 1966, ont permis d'obtenir 38 jours. Cette différence pourrait s'expliquer par les conditions d'étude. Les travaux de Thompson (1966) ont été réalisés à 28°C et 75% d'humidité relative tandis que notre étude a été réalisée à une température moyenne de 26°C et 73% d'humidité relative. Selon Birch (1945), la température optimale pour un développement rapide de *R. dominica* est de 34°C. Ainsi plus on augmente la température jusqu'à un maximum de 34°C, plus on réduit la durée du cycle du ravageur. Les individus nouvellement émergés pèsent en moyenne 1,02 mg et 1,12 mg respectivement pour les variétés locales blanche et rouge. En effet, Edde et Phillips (2006) stipulent que le poids moyen d'un individu de *R. dominica* varie entre 0,99 et 1,38 mg. Cependant le poids moyen d'un individu sur la variété locale rouge est significativement plus élevé que celui enregistré sur la variété locale blanche. Le sorgho local à grains rouges serait plus favorable au développement de *R. dominica*. Selon Barro-Kondombo et al. (2008), le groupe de variété locale à grains rouges est caractérisé par une faible vitrosité. Plusieurs auteurs ont montré que la vitrosité des grains est positivement corrélée avec leur résistance aux attaques des insectes durant le stockage (Arnason et al., 1994 ; Nawrot et al., 2006). La descendance de *R. dominica* est dominée en nombre par les femelles. Ces dernières présentent une durée de vie plus courte que les mâles. Les mêmes observations ont été faites par Edde et Phillips (2006) sur la composition de la descendance de *R. dominica* sur des grains de blé. Selon Nguyen et al. (2008), comparativement aux mâles, les femelles dépensent davantage d'énergie nécessaire à l'accomplissement de la fonction de reproduction. Cette dépense énergétique supérieure des femelles, contribuerait donc à réduire leur longévité. Les taux d'accroissement de *R. dominica* sur les deux variétés de sorgho obtenus dans cette étude sont supérieurs à ceux observés par

Park *et al.* (2008) qui ont travaillé sur une variété de sorgho. Les différents taux d'accroissement obtenus dans les deux cas pourraient s'expliquer par la différence de sensibilité des variétés étudiées. Selon plusieurs auteurs, la sensibilité d'une variété est fortement corrélée avec le taux d'accroissement d'un ravageur (Chijindu *et al.*, 2008 ; Chuck-Hernández *et al.*, 2013).

4.5. Conclusion partielle

L'analyse des paramètres mesurés permet de conclure que *R. dominica* est véritablement l'un des principaux ravageurs de sorgho au Burkina Faso. L'infestation initiale des grains de sorgho intervient au niveau de la concession lors du processus de séchage des panicules ou dans les greniers à partir des populations résiduelles. De plus, Il arrive à se développer et à maintenir sa population sur les deux variétés locales de sorgho durant une période relativement longue. En outre, les résultats obtenus ont révélé une plus grande sensibilité du sorgho à grains rouges comparativement au sorgho à grains blancs. Au regard du statut de principal ravageur de *R. dominica* dans les stocks de sorgho, il convient de mettre en place des méthodes de lutte afin de réduire son incidence. Cette perspective sera abordée dans le chapitre suivant.

Chapitre V : EVALUATION DE DEUX COMPOSANTES DE LA LUTTE INTEGREE CONTRE R. DOMINICA : RESISTANCE VARIETALE ET STOCKAGE HERMETIQUE

5.1. Introduction

La population mondiale devrait atteindre 10,5 milliards d'habitants d'ici 2050 (Aulakh et Regmi, 2013), soit une augmentation de 33% de la population mondiale. Selon Alexandratos et Bruinsma (2012), la production alimentaire devrait augmenter de 60% afin de répondre à la demande alimentaire en 2050. La disponibilité alimentaire est conditionnée par la réduction des pertes. Ainsi, la réduction des pertes post-récoltes est un élément essentiel à l'atteinte de la sécurité alimentaire mondiale. Dans les pays en développement les pertes les plus importantes sont observées durant le stockage (Aulakh et Regmi, 2013). Les insectes ravageurs constituent les principaux agents de dégradation des grains stockés. Les pertes occasionnées par ces insectes sont de l'ordre de 20% (Aidoo, 1993). Autrement dit, un cinquième de ce qui est produit ne parvient jamais aux consommateurs et le travail et l'argent investis sont perdus (Scotn, 1973 ; Weidner et Rack, 1984). *Rhyzopertha dominica* (F.) constitue l'un des principaux ravageurs des grains stockés dans le monde. Les dégâts dus aux attaques de ce ravageur sont aussi imputables aux larves qu'aux adultes (Delobel et Tran, 1993). L'utilisation des extraits ou parties de plantes et l'usage des produits chimiques pour la protection des grains stockés est très répandue en milieu paysan (Waongo et al., 2013). Cependant plusieurs auteurs ont montré les limites de l'usage des produits chimiques. En effet, *Rhyzopertha dominica* est difficile à tuer avec des insecticides de contact parce qu'une bonne partie de son cycle de développement se déroule à l'intérieur des grains (Lorini et Galley, 1996 ; Huang et Subramanyam, 2005). Ces insecticides présentent des dangers pour le bien-être de l'utilisateur, du consommateur et pour l'environnement (Waage, 1992 ; Kossou et Aho, 1993).

Les inconvénients liés à l'emploi des produits insecticides militent en faveur de la recherche de nouvelles alternatives de lutte à faible répercussion écologique. La résistance variétale et le stockage hermétique peuvent s'inscrire dans cette optique (Sanon *et al.*, 2011 ; Chuck-Hernández *et al.*, 2013, Baoua *et al.*, 2014a et b). En effet, ces méthodes, d'application facile et de faible coût, sont utilisées depuis des lustres par les producteurs pour la préservation de leur stock alimentaire.

Ce présent chapitre vise à : (i) identifier les variétés de sorgho tolérantes et/ou sensibles aux attaques de *R. dominica*, (ii) évaluer l'efficacité des sachets de 80µm (principale composante de la technologie du triple ensachage sur *R. dominica*).

5.2. Méthodologie

5.2.1. Criblage variétal

5.2.1.1. Effet des variétés sur la durée de développement de *R. dominica*

Vingt (20) individus adultes de *R. dominica* non sexés, nouvellement émergés, ont été placés au contact de 10 g de chacune des 25 variétés de sorgho (décrites au chapitre 2) pendant sept jours pour leur permettre de pondre. Les individus ont été ensuite retirés à l'aide d'une pince souple et les échantillons ont été placés en observation jusqu'à l'émergence des insectes adultes. Un lot de 15 répétitions a été constitué pour chaque variété. Les dates d'infestation et d'émergence ont été consignées afin de déterminer la durée moyenne de développement (*Dmd*) selon la formule suivante :

$$Dmd = \sum_{i=1}^n Di \times \frac{1}{n}$$

Avec *Di* = durée de développement d'un individu *i* sur une variété donnée et *n* = nombre total d'individus.

5.2.1.2. Test de sensibilité des variétés de sorgho vis-à-vis de *R. dominica*

Le test de sensibilité a consisté à infester artificiellement 100 g de grains de chaque variété de sorgho contenu dans des bouteilles de capacité 0,25 litre avec vingt (20) individus adultes de *R. dominica*, nouvellement émergés, issus de la colonie de laboratoire. Chaque bouteille est recouverte d'une toile moustiquaire, maintenue par un bracelet. Pour chaque variété, 5 répétitions ont été réalisées (Photo 7). L'ensemble des bouteilles est placé en observation pendant une période de huit (08) semaines dans la salle d'élevage avec une température variant entre 23,4-30,8°C et taux d'humidité relative entre 51-95%. Au terme de la période d'observation, les insectes sont retirés à l'aide d'un tamis de maille 2,5 mm. La population finale constituée d'individus morts et vivants a été dénombré. Les dégâts occasionnés par les insectes ont été évalués en tamisant le contenu de chaque bouteille à l'aide d'un tamis de maille 0,5 mm. La poudre de chaque bouteille a été ensuite pesée. Après ce processus, un échantillon de 100 grains de chaque bouteille est prélevé, pesé puis observé sous loupe binoculaire afin de déterminer le nombre de grains endommagés.

Les paramètres suivants ont été calculés :

✚ Taux d'accroissement (Ta) (Chuck-Hernández et *al.*, 2013) : $Ta = \frac{Pf}{Pi}$

Avec Pf = population finale, Pi = population initiale.

✚ Taux de mortalité (Tm) : $Tm = \frac{Nm}{Pt} \times 100$

Avec Nm = Nombre d'individus morts, Pt = population totale

✚ Nombre d'individus de la première génération (F1) : $F1 = Pf - Pi$

✚ **Indice de Dobie (ID)** (Dobie, 1974) : il permet de caractériser le degré de sensibilité d'une variété vis-à-vis d'un ravageur des stocks. Pour une variété donnée, plus l'indice est élevé et plus la variété est sensible.

$$ID = \frac{[\ln(F1) \times 100]}{Dmd}$$

Avec F1 = Nombre d'individus de la première génération et Dmd = Durée moyenne de développement



Photo 7 : Dispositif du test de sensibilité des variétés de sorgho vis-à-vis de *R. dominica*

5.2.2. Tests d'efficacité des sachets de 80µm sur *R. dominica*

5.2.2.1. Effet des sachets de 80µm sur la survie des adultes

Ce test a été réalisé avec des prototypes de sachet plastique de 80µm d'épaisseur. Vingt (25) adultes de *R. dominica* issus de l'élevage de masse ont été utilisés pour infester 200 g de la variété locale de sorgho rouge. Trois traitements ont été appliqués :

- Traitement 1 : ensachage avec un sachet plastique unique de 80 µm (une couche) ;
- Traitement 2 : ensachage avec deux sachets plastiques de 80 µm (deux couches) ;
- Traitement 3 : conditionnement dans des bocaux en verre de contenance 1 litre
(Témoin).

Les sacs plastiques ont été hermétiquement fermés à l'aide d'un soude-sac tandis que l'ouverture des bocaux est recouverte d'une toile moustiquaire, maintenue par un bracelet. Pour chaque traitement 3 lots de 4 répétitions ont été constitués (Photo 8). Les observations ont été faites toutes les deux semaines. A chaque date d'observation, on recueille la poudre issue de l'activité alimentaire des adultes en passant le produit dans un tamis de maille 0,5 mm puis on la pèse. Aussi le nombre d'individus morts est dénombré afin de calculer le taux de mortalité (T_m) selon la formule suivante :

$$T_m = \frac{\text{Nombre d'individus morts}}{\text{Nombre d'individus total}} \times 100$$



Photo 8 : Dispositif du test de l'effet des sachets plastiques sur la survie des adultes de *R. dominica*

5.2.2.3. Effet des sachets de 80 μ m sur les stades intermédiaires (larves) de *R. dominica*

Trois lots de 900 g de la variété locale rouge de sorgho contenus dans des bocaux en verre de contenance 3 litres ont été infestés artificiellement chacun avec 500 adultes de *R. dominica* non sexés et nouvellement émergés. Les bocaux sont fermés à l'aide d'un tissu moustiquaire et maintenu avec un bracelet en caoutchouc. Dans le but d'obtenir des stades intermédiaires, les bocaux ont été ensuite placés en observation pendant 20, 30 et 40 jours respectivement pour les lots 1 ; 2 et 3. Au terme de chaque période, le contenu des bocaux est tamisé afin de retirer les adultes ayant servi à l'infestation. Puis le contenu est reparti en trois traitements de trois (3) répétitions de 100g chacun. Les traitements suivants ont été réalisés :

- Traitement 1 : ensachage avec un sachet plastique unique de 80 μ m (une couche)
- Traitement 2 : ensachage avec deux sachets plastiques de 80 μ m (deux couches)
- Traitement 3 : conditionnement dans des bocaux en verre de contenance 0,25 litre (Témoin)

Les sachets plastiques ont été hermétiquement fermés à l'aide d'un soude-sac. Tandis que l'ouverture des bocaux est recouverte à l'aide d'un tissu moustiquaire et maintenu avec un bracelet en caoutchouc. Les traitements sont alors placés en observation pour 40 ; 30 et 20 jours supplémentaires respectivement pour les lots 1 ; 2 et 3, soit un total de 60 jours pour chaque lot afin d'observer le maximum d'émergence. Au terme de la période d'observation, les individus de la première génération (F1) ont été dénombrés par traitement. La poudre issue de l'activité alimentaire des adultes et des stades larvaires a été tamisée avec un tamis de maille 0,5 mm puis pesée.

5.2.2.2. Effet des sachets de 80µm sur l'accroissement de R. dominica

Cent (100) g de la variété locale rouge de sorgho contenu dans des bocaux en verre de contenance 0,25 litre ont été infestés artificiellement avec vingt (20) individus (population initiale) adultes de *R. dominica* non sexés et nouvellement émergés. L'ouverture des bocaux est recouverte d'une toile moustiquaire, maintenue par un bracelet. Trois (3) lots de cinq bocaux ont été constitués. Après une semaine de contact des adultes de *R. dominica* avec le substrat de ponte, les lots ont subi les traitements suivants :

- Lot 1 : le contenu de chaque bocal est transvasé dans un prototype de sachet plastique unique (une couche) ;
- Lot 2 : le contenu de chaque bocal est transvasé dans un prototype de deux sachets plastiques (double couche) ;
- Lot 3 : les bocaux sont maintenus en l'état pour constituer le témoin.

Les sacs plastiques ont été hermétiquement fermés à l'aide d'un soude-sac. Les échantillons ont été placés en observation pour une période d'incubation de huit (8) semaines. Au terme de la période d'observation, les dégâts occasionnés par les insectes ont été évalués en tamisant le contenu de chaque bouteille à l'aide d'un tamis de maille 0,5 mm. La poudre de chaque bouteille est ensuite pesée. Après ce processus, un échantillon de 100 grains est observé sous loupe binoculaire afin de déterminer le nombre de grains endommagés. La population finale est dénombrée afin de déterminer le taux d'accroissement (Ta) de *R. dominica* selon la formule suivante (Chuck-Hernández et al., 2013) :

$$Ta = \frac{\textit{Population finale}}{\textit{Population initiale}}$$

5.2.3. Analyses statistiques

Les données collectées sur les méthodes de lutte contre *R. dominica* F. ont fait l'objet d'une analyse de variance (ANOVA) avec le logiciel SAS (Statistical Analysis System) version 9 (2003). Lorsque les ANOVA étaient significatives les moyennes étaient comparées à l'aide du test de Student-Newman-Keuls au seuil de probabilité de 5%.

5.3. Résultats

5.3.1. Criblage variétal

5.3.1.1. Effet des variétés sur la durée de développement de *R. dominica*

La durée moyenne de développement de *R. dominica* varie de 49 à 58 jours avec une différence significative entre les variétés (Tableau 10). La plus faible durée de développement est obtenue sur les variétés Sariasso 11, PMEO4/4-1L-2S-2-1K-2, Kon koos buuga et la plus élevée sur la variété ICSV 1049.

Tableau 10 : Durée de développement de *R. dominica* obtenue sur les variétés de sorgho

Variétés	Durée moyenne de développement (jours)
ICSV 1049	58 ± 12,04 ^A
Sariasso 10	51 ± 6,40 ^E
Sariasso 11	49 ± 4,43 ^G
Sariasso 14	53 ± 3,44 ^C
Gnossiconi	55 ± 2,39 ^B
Nongomsoba	51 ± 2,29 ^E
BF98-1/10-1-1-1Z-1	52 ± 4,45 ^D
BF97-19/6-2-1-1Z-1G-1	51 ± 2,69 ^E
BF97-19/11-1-1-1-1G-1	52 ± 5,10 ^D
PME04/4-1L-2S-2-1K-2	49 ± 2,68 ^G
Locale Blanche	51 ± 2,70 ^E
Locale Rouge	51 ± 2,20 ^E
Kon koos buuga	49 ± 1,46 ^G
Karagkoèga	50 ± 3,38 ^F
Gadre	51 ± 2,67 ^E
P-value	0,0001

Les moyennes ± écart types ayant les mêmes lettres alphabétiques en majuscule dans la même colonne ne sont pas significativement différentes d'après le test de Student-Newman-Keuls ($\alpha = 0,05$).

5.3.1.2. Effet des variétés sur l'accroissement de la population de *R. dominica*

Le tableau 11 présente les résultats sur l'accroissement de la population de *R. dominica* sur les variétés de sorgho. On enregistre des différences significatives pour la population de la première génération ($P=0,0001$) et l'accroissement de la population de *R. dominica* ($P=0,0001$) sur les variétés de sorgho. Les variétés Kon koos buuga, Sariasso 10, Sariasso 14, BF97-19/11-1-1-1-1G-1 et Locale Rouge présentent la population de F1 et le taux d'accroissement les plus élevés, tandis que les variétés ICSV 1049 et Gadre présentent pour ces deux paramètres les taux les plus faibles.

Tableau 11 : Taux d'accroissement de la population en fonction des variétés de sorgho (P_i = population initiale, P_f = population finale, T_a = taux d'accroissement).

Variétés	Pi	Pf	Ta
ICSV 1049	20	20,4 ± 0,89 ^D	1,02 ± 0,04 ^D
Sariasso 10	20	48,6 ± 12,03 ^{AB}	2,43 ± 0,60 ^{AB}
Sariasso 11	20	28,2 ± 3,42 ^{BCD}	1,41 ± 0,17 ^{BCD}
Sariasso 14	20	45,4 ± 10,62 ^{ABC}	2,27 ± 0,53 ^{ABC}
Gnossiconi	20	38 ± 7,38 ^{BCD}	1,90 ± 0,37 ^{BCD}
Nongomsoba	20	40,4 ± 7,67 ^{BCD}	2,02 ± 0,38 ^{BCD}
BF98-1/10-1-1-1Z-1	20	33,4 ± 6,84 ^{BCD}	1,67 ± 0,34 ^{BCD}
BF97-19/6-2-1-1Z-1G-1	20	38,4 ± 5,32 ^{BCD}	1,92 ± 0,26 ^{BCD}
BF97-19/11-1-1-1-1G-1	20	43 ± 8,48 ^{ABC}	2,15 ± 0,42 ^{ABC}
PME04/4-1L-2S-2-1K-2	20	33 ± 3,39 ^{BCD}	1,65 ± 0,17 ^{BCD}
Locale Blanche	20	36,8 ± 7,82 ^{BCD}	1,84 ± 0,39 ^{BCD}
Locale Rouge	20	42,4 ± 20,36 ^{ABC}	2,12 ± 1,02 ^{ABC}
Kon koos buuga	20	59,6 ± 21,12 ^A	2,98 ± 1,06 ^A
Karagkoèga	20	25,2 ± 2,17 ^{CD}	1,26 ± 0,11 ^{CD}
Gadre	20	21 ± 1,41 ^D	1,05 ± 0,07 ^D
P-value	-	0,0001	0,0001

Les moyennes ± écart types ayant les mêmes lettres alphabétiques en majuscule dans la même colonne ne sont pas significativement différentes d'après le test de Student-Newman-Keuls ($\alpha = 0,05$).

5.3.1.3. Effet des variétés sur la mortalité des adultes de *R. dominica*

Les résultats de l'effet des variétés sur la mortalité des adultes de *R. dominica* sont consignés dans le tableau 12. Les taux de mortalité diffèrent significativement en fonction des différentes variétés ($P < 0,001$). Les taux de mortalité les plus élevés sont observés respectivement sur les variétés Sariasso 11 (30,71%), ICSV 1049 (28,46%), Gadre (21,06%) et Karagkoèga (20,28%). Les autres variétés présentent des taux de mortalité qui varient entre 8,51% et 18,25%.

Tableau 12 : Taux de mortalité en fonction des variétés de sorgho *Tm*= taux de mortalité)

Variétés	Tm (%)
ICSV 1049	28,46 ± 0,05 ^{AB}
Sariasso 10	11,49 ± 0,03 ^C
Sariasso 11	30,71 ± 0,07 ^A
Sariasso 14	12,36 ± 0,02 ^C
Gnossiconi	18,25 ± 0,03 ^C
Nongomsoba	15,02 ± 0,06 ^C
BF98-1/10-1-1-1Z-1	11,56 ± 0,07 ^C
BF97-19/6-2-1-1Z-1G-1	15,08 ± 0,07 ^C
BF97-19/11-1-1-1-1G-1	13,41 ± 0,03 ^C
PME04/4-1L-2S-2-1K-2	15,20 ± 0,06 ^C
Locale Blanche	10,55 ± 0,04 ^C
Locale Rouge	13,29 ± 0,06 ^C
Kon koos buuga	8,51 ± 0,01 ^C
Karagkoèga	20,28 ± 0,07 ^{BC}
Gadre	21,06 ± 0,12 ^{BC}
<i>P-value</i>	<i>0,0001</i>

Les moyennes ± écart types ayant les mêmes lettres alphabétiques en majuscule dans la même colonne ne sont pas significativement différentes d'après le test de Student-Newman-Keuls ($\alpha = 0,05$).

5.3.1.4. Impact de *R. dominica* sur la qualité des grains de sorgho

Le poids des frass (poudre produite par l'activité alimentaire des adultes) ($P=0,0001$) et le poids de 100 grains ($P<0,0001$) varient significativement d'une variété à une autre contrairement au pourcentage de grains troués ($P = 0,9035$) (Tableau 13). La plus grande production de frass est observée au niveau de la variété locale rouge, Kon koos buuga (997,2 mg) qui diffère significativement des autres variétés.

Le poids de 100 grains le plus élevé est observé au niveau de la variété ICSV 1049 (3,14 g) qui diffère significativement des autres variétés.

Tableau 13 : Dégâts causés aux grains des grâce à l'activité alimentaire de *R. dominica* après huit (08) semaines de contact.

Variétés	Poids des frass* (mg)	Poids de 100 grains (g)	Pourcentage de grains perforés (%)
ICSV 1049	406,3 ± 0,20 ^{BC}	3,140 ± 0,04 ^A	2,6 ± 1,34 ^A
Sariasso 10	550,9 ± 0,20 ^{BC}	2,279 ± 0,09 ^{CD}	2,4 ± 2,35 ^A
Sariasso 11	260,8 ± 0,05 ^C	2,648 ± 0,10 ^{BCD}	3 ± 1,10 ^A
Sariasso 14	527,2 ± 0,11 ^{BC}	2,803 ± 0,07 ^F	2 ± 1,30 ^A
Gnossiconi	492,1 ± 0,09 ^{BC}	2,750 ± 0,09 ^B	3,8 ± 2,55 ^A
Nongomsoba	452,7 ± 0,10 ^{BC}	2,326 ± 0,09 ^{BC}	3 ± 1,22 ^A
BF98-1/10-1-1-1Z-1	411,2 ± 0,07 ^{BC}	2,575 ± 0,08 ^{BCD}	3 ± 1,64 ^A
BF97-19/6-2-1-1Z-1G-1	404 ± 0,15 ^{BC}	2,587 ± 0,06 ^E	3 ± 1,10 ^A
BF97-19/11-1-1-1-1G-1	615,3 ± 0,09 ^B	2,650 ± 0,10 ^D	1,2 ± 3,32 ^A
PME04/4-1L-2S-2-1K-2	318 ± 0,05 ^{BC}	2,125 ± 0,08 ^E	2,8 ± 1,67 ^A
Locale Blanche	392,7 ± 0,11 ^{BC}	2,787 ± 0,09 ^{BCD}	3 ± 1,22 ^A
Locale Rouge	489,3 ± 0,07 ^{BC}	2,727 ± 0,07 ^B	3 ± 2,35 ^A
Kon koos buuga	997,2 ± 0,43 ^A	2,666 ± 0,04 ^B	2,2 ± 3,56 ^A
Karagkoèga	570,4 ± 0,09 ^{BC}	2,309 ± 0,09 ^E	1,2 ± 2,65 ^A
Gadre	524,8 ± 0,12 ^{BC}	2,535 ± 0,09 ^{CD}	3 ± 2,95 ^A
P-value	0,0001	< 0,0001	0,9035

Les moyennes ± écart types ayant les mêmes lettres alphabétiques en majuscule dans la même colonne ne sont pas significativement différentes d'après le test de Student-Newman-Keuls ($\alpha = 0,05$).

*Poudre produite par l'activité alimentaire des adultes de *R. dominica*.

5.3.1.5. Sensibilité des variétés aux attaques de *R. dominica*

L'analyse du tableau 15 montre que toutes les variétés testées sont sensibles aux attaques de *R. dominica*. L'indice de Dobie diffère significativement ($P=0,0001$) d'une variété à une autre. Les variétés ICSV 1049 et Gadre présentent de façon significative les indices de Dobie les plus faibles. Les variétés Kon koos buuga, Sariasso 10, Sariasso 14, BF97-19/11-1-1-1-1G-1 et Nongomsoba présentent les indices de Dobie les plus élevés.

Tableau 14 : Indices de Dobie enregistrés sur les différentes variétés de sorgho

Variétés	Indice de Dobie
ICSV 1049	0,239 ± 0,53 ^E
Sariasso 10	6,467 ± 0,68 ^{AB}
Sariasso 11	4,094 ± 1,1 ^{CD}
Sariasso 14	5,981 ± 0,74 ^{AB}
Gnossiconi	5,158 ± 0,62 ^{BC}
Nongomsoba	5,824 ± 0,62 ^{AB}
BF98-1/10-1-1-1Z-1	4,768 ± 1,08 ^{BC}
BF97-19/6-2-1-1Z-1G-1	5,649 ± 0,54 ^{BC}
BF97-19/11-1-1-1-1G-1	5,932 ± 0,67 ^{AB}
PME04/4-1L-2S-2-1K-2	5,182 ± 0,51 ^{BC}
Locale Blanche	5,391 ± 0,79 ^{BC}
Locale Rouge	5,557 ± 1,58 ^{BC}
Kon koos buuga	7,317 ± 0,94 ^A
Karagkoèga	3,186 ± 0,70 ^D
Gadre	0,878 ± 1,06 ^E
<i>P-value</i>	0,0001

Les moyennes ± écart types ayant les mêmes lettres alphabétiques en majuscule dans la même colonne ne sont pas significativement différentes d'après le test de Student-Newman-Keuls ($\alpha = 0,05$).

5.3.2. Effet des sachets de 80 μ m sur *R. dominica* F.

5.3.2.1. Effet des sachets de 80 μ m sur la mortalité des adultes de *R. dominica*

La figure 21 présente le taux de mortalité des adultes de *R. dominica* en fonction de 3 périodes d'observation. A chaque période, le taux de mortalité observé dans le sachet double est significativement plus important que dans le sachet simple et le témoin. Au bout de 60 jours, le sachet simple et le sachet double induisent des mortalités respectivement supérieures et deux fois supérieures au témoin.

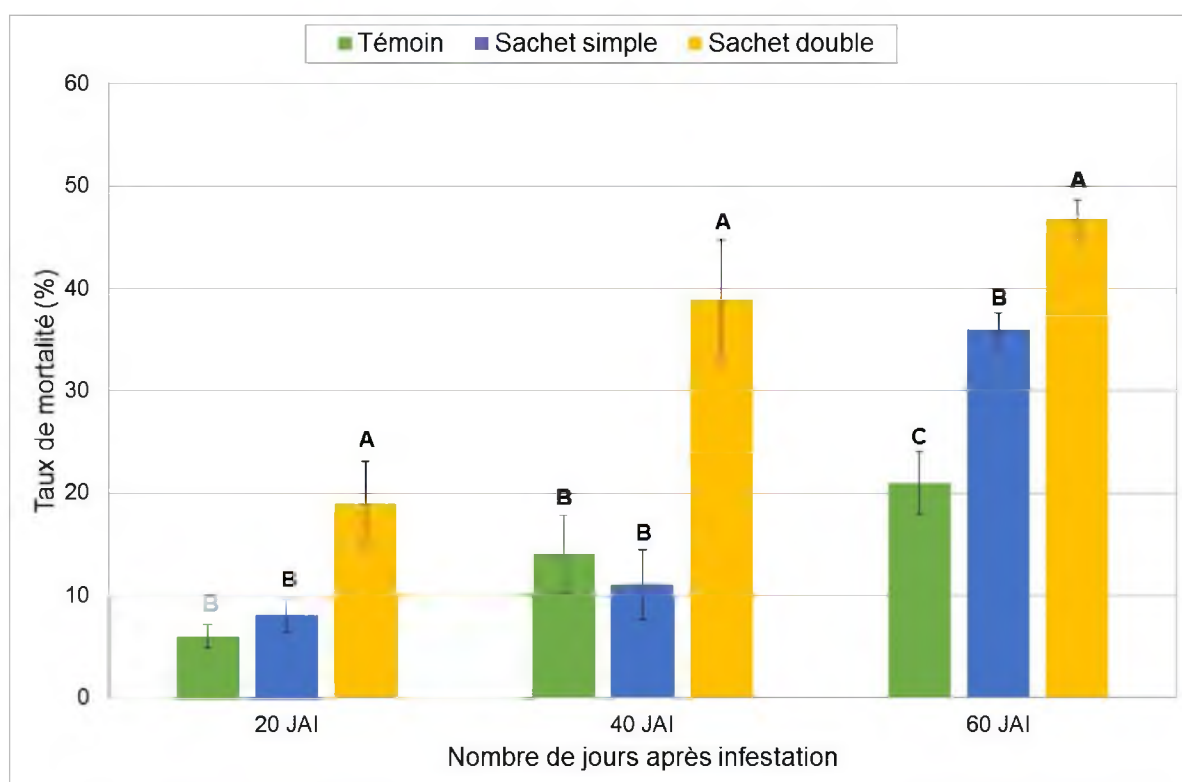


Figure 21 : Mortalité des adultes de *R. dominica* obtenue 20 ; 40 et 60 jours après infestation dans des sachets de couches différentes. (Pour chaque période d'observation, les moyennes ont été comparées avec le test de Student Newman-Keuls au seuil de 5%. Les moyennes avec des lettres alphabétiques différentes indiquent des différences significatives).

5.3.2.2. Effet des sachets de 80 μ m sur l'activité alimentaire des adultes de *R. dominica*

La figure 22 présente l'évolution des dégâts dus à l'activité alimentaire des adultes de *R. dominica* sur une période de 60 jours. Les sachets plastiques induisent une mortalité supérieure à celle observée au niveau du témoin. Au 60^{ème} JAI, la production de poudre résultant de l'activité alimentaire des adultes de *R. dominica* est significativement réduite de moitié dans le sachet double comparativement au témoin et moins important par rapport au sachet simple.

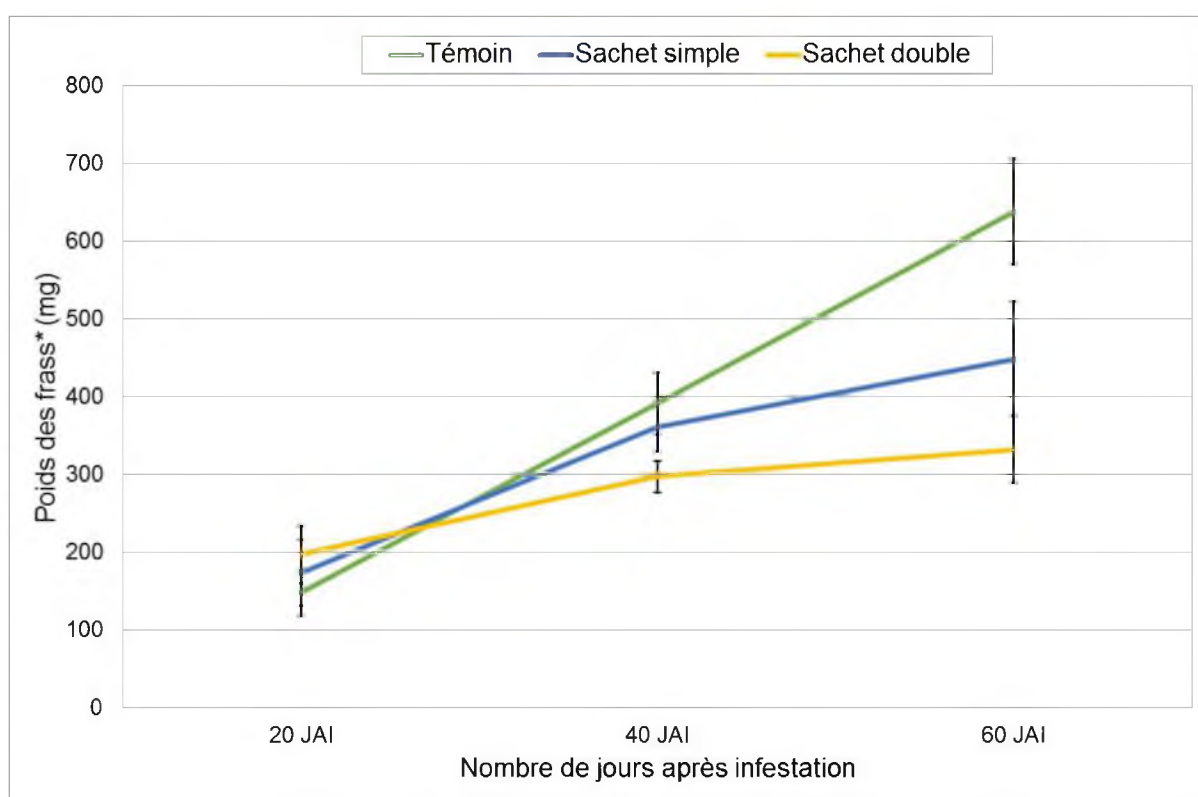


Figure 22 : Evolution des dégâts (Poids moyen \pm ET des frass) causés par les adultes de *R. dominica* aux grains de sorgho au bout de 60 jours dans des sachets de couches différentes.

5.3.2.3. Effet des sachets de 80 μ m sur les stades intermédiaires (larves) de *R. dominica*

Le tableau 15 présente les émergences de *R. dominica* sur des grains de sorgho infestés à différentes dates en fonction des traitements. Les émergences observées au niveau des trois traitements diffèrent significativement pour chaque date d'infestation. Le taux d'émergence est significativement plus faible sur le sorgho ensaché avec le sachet plastique double quelle que soit la durée de l'infestation.

Les dégâts causés par les larves diffèrent significativement en fonction des traitements uniquement 20 et 60 jours après infestation (JAI) (Tableau 15). Les dégâts consécutifs à l'émergence des adultes après 20 et 60 jours d'infestation sont significativement moins importants sur le sorgho ensaché, tandis que les dégâts occasionnés par les émergences après 40 jours d'infestation ne diffèrent pas en fonction des traitements (Tableau 16).

Tableau 15 : Taux d'émergences de la F1 de *R. dominica* obtenu 20 ; 40 et 60 jours après infestation (JAI) dans des sachets de couches différentes.

Traitements	Nombre total d'insectes émergents		
	20 JAI	40 JAI	60 JAI
Témoin	43,33 \pm 10,40 ^A	7 \pm 0,82 ^A	5 \pm 1,41 ^A
Sachet simple	13,67 \pm 3,09 ^B	6,33 \pm 0,94 ^A	3,33 \pm 0,47 ^B
Sachet double	1,67 \pm 0,47 ^C	4 \pm 0,82 ^B	2,33 \pm 0,47 ^B
<i>P-value</i>	<,0001	0,0020	0,0073

Les moyennes \pm écartypes ayant les mêmes lettres alphabétiques en majuscule dans la même colonne ne sont pas significativement différentes d'après le test de Student-Newman-Keuls ($\alpha = 0,05$).

Tableau 16 : Variation du poids des frass rejetés par les stades intermédiaires de *R. dominica* 20 ; 40 et 60 jours après infestation dans des sachets de couches différentes.

Traitements	Poids total des frass* (mg)		
	20 JAI	40 JAI	60 JAI
Témoin	509 ± 45,37 ^A	138 ± 5,72 ^A	186 ± 38,22 ^B
Sachet simple	117,50 ± 32,25 ^B	137,33 ± 8,99 ^A	264,17 ± 56,1 ^A
Sachet double	41 ± 4,90 ^B	132 ± 12,25 ^A	68,27 ± 25,94 ^C
<i>P-value</i>	<,0001	0,6267	0,0003

Les moyennes ± écartypes ayant les mêmes lettres alphabétiques en majuscule dans la même colonne ne sont pas significativement différentes d'après le test de Student-Newman-Keuls ($\alpha = 0,05$).

5.3.2.4. Effet des sachets de 80 μ m sur la dynamique de population de *R. dominica*

Le tableau 17 présente les résultats sur l'accroissement de la population de *R. dominica* et les dégâts occasionnés. La population finale et le taux d'accroissement de la population de *R. dominica* au niveau du témoin sont trois (3) fois supérieurs à ceux observés sur le sorgho ensaché aussi bien en simple qu'en double. Sur le sorgho ensaché, la multiplication de *R. dominica* est quasi nulle. Les dégâts observés à la suite de la multiplication de *R. dominica* sont significativement réduits sur le sorgho ensaché en simple et en double comparativement au témoin (Tableau 17).

Tableau 17 : Population finale, taux d'accroissement, poids des frass et nombre de grains perforés dans des sachets de couches différentes huit semaines après infestation.

Traitements	<i>R. dominica</i> par 100 g de sorgho		Impact sur la qualité des grains	
	Pf	Ta	Poids des frass (mg)*	Nombre de grains perforés
Témoin	62,80 ± 15,51 ^A	3,14 ± 1,73 ^A	652,96 ± 404,7 ^A	10,40 ± 2,73 ^A
Sachet simple	20,20 ± 0,20 ^B	1,01 ± 0,02 ^B	231,40 ± 65,19 ^B	3,80 ± 1,07 ^B
Sachet double	22,60 ± 0,75 ^B	1,13 ± 0,08 ^B	159 ± 21,77 ^B	5,00 ± 0,84 ^B
<i>P-value</i>	0,0091	0,0091	0,013	0,047

Les moyennes ± écartypes ayant les mêmes lettres alphabétiques en majuscule dans la même colonne ne sont pas significativement différentes d'après le test de Student-Newman-Keuls ($\alpha = 0,05$).

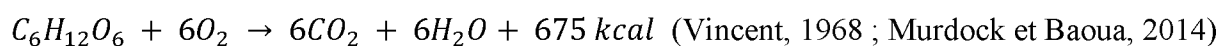
5.4. Discussion

L'analyse des résultats du criblage variétal montre une différence de sensibilité des variétés testées vis-à-vis des attaques de *R. dominica*. Chuck-Hernández et al. (2013) ont observé également des différences de sensibilité de douze variétés de sorgho vis-à-vis de *S. zeamais*. Selon ces auteurs, les différences de sensibilité des variétés seraient liées aux propriétés chimiques et/ou physiques des variétés. Ainsi la structure de l'endosperme est prédominante dans la résistance à *S. zeamais*. Les variétés ICSV 1049 et Gadré sont les plus tolérantes au regard de leur indice de sensibilité qui est très bas. Contrairement à la variété ICSV 1049 qui présente de bons scores sur tous les paramètres mesurés, la variété locale rouge Gadré présente un taux de mortalité et un poids de 100 g significativement inférieurs à ceux observés sur ICSV 1049. La variété Gadré a été mise au point par des producteurs semenciers, tandis que la variété ICSV 1049 est issue des unités de sélection variétale de l'ICRISAT et de l'INERA. Cette différence d'origine pourrait donc expliquer le manque de stabilité de la variété locale pour tous les paramètres mesurés. La variété ICSV 1049 présente d'énormes

potentialités. Son rendement moyen dans les conditions optimales de production est de l'ordre de 4 t/ha (CNC, 2014). Elle possède des grains de couleur blanche et des panicules compactes (CNC, 2014). Le poids moyen de 1000 grains de cette variété est d'environ 23 g (CNC, 2014). Ces différents scores sont des caractères très appréciables pour une variété. Sur l'ensemble des paramètres mesurés, la variété locale de sorgho rouge Kon Koos Buuga s'est montrée la plus sensible aux attaques de *R. dominica*. Cette plus grande sensibilité du sorgho à grains rouges trouverait son origine au niveau des caractéristiques des grains. En effet, Selon Barro-Kondombo et al. (2008), les variétés locales de sorgho à grains rouges sont caractérisées par une faible vitrosité. Selon plusieurs auteurs la vitrosité des grains est positivement corrélée avec la résistance des grains aux attaques des ravageurs durant le stockage (Arnason, 1994 ; Odeyemi et Daramola, 2000; Nawrot et al., 2006).

Les résultats de l'évaluation de l'efficacité des sachets de 80 μ m sur *R. dominica*, montrent que les sachets induisent à la fois une mortalité au niveau des adultes du ravageur, inhibent le développement des stades intermédiaires et l'accroissement de l'insecte sur les grains de sorgho tout en réduisant les dégâts. En effet, 60 jours après infestation, le sachet double de 80 μ m induit une mortalité deux fois supérieure à celle observée dans le témoin. Un taux de mortalité de 100% de *Callosobruchus maculatus* F. sur des graines de niébé a été observé par Sanon et al. (2011) avec les mêmes épaisseurs de sachet en double couche au bout de 4 jours de stockage. Cette différence de taux de mortalité s'expliquerait par le fait que contrairement aux adultes de *R. dominica*, ceux de *C. maculatus* ne s'alimentent pas ce qui les exposerait davantage à l'effet des sachets. Par contre García-Lara et al. (2013), ont obtenu 100% de mortalité des adultes de *R. dominica* au bout de 4 semaines de stockage avec les sacs Super Grain bags de GrainPro. Selon les travaux de Murdock et al. (2012), la mort des insectes s'expliquerait par un ralentissement de l'activité métabolique se traduisant par une dessiccation suite à un approvisionnement insuffisant en eau.

En effet, dans l'atmosphère confinée des sacs, du fait de l'activité respiratoire des insectes, le taux de dioxygène (O₂) chute brusquement au profit de l'augmentation du taux de dioxyde de carbone (CO₂). Cette variation du taux des deux principaux gaz respiratoires dans l'atmosphère confinée des sacs a été démontrée par plusieurs auteurs (Calderon et Navarro, 1979, 1980 ; García-Lara et *al.*, 2013). L'eau et l'énergie nécessaire à la réalisation de nombreuses réactions dans l'organisme sont fournis par la réaction d'oxydation du glucose :



Ainsi lorsque l'oxygène dans le milieu ambiant venait à manquer, le glucose n'est plus dégradé ce qui aura pour conséquence le non approvisionnement de l'organisme en eau et en énergie. Cette situation conduit à l'inactivité des insectes (arrêt de l'activité alimentaire des insectes), à l'arrêt de la croissance de la population, à la dessiccation et la mort s'en suit (Murdock et *al.*, 2012). Les résultats de nos travaux corroborent cette conclusion. En effet, nos travaux ont montré que les sachets de 80µm en double couche, principaux composants de la technologie des sacs à triple fond encore appelés sacs PICS, en plus d'induire de façon significative une mortalité au niveau des adultes, permettent : (i) de réduire de façon significative l'activité alimentaire des adultes ; (ii) d'inhiber de façon significative le développement des stades intermédiaires ; (iii) d'arrêter l'accroissement des populations de *R. dominica*. Ces résultats sont prometteurs et constituent une base fondamentale pour des essais à grande échelle visant à contrôler les populations de *R. dominica* dans les stocks de sorgho. Les travaux de Baoua et *al.* (2014b) ont porté sur l'évaluation à grande échelle du stockage du maïs avec des sacs à triple fond de 50 kg contre trois principaux ravageurs que sont : *Prostephanus truncatus*, *Sitophilus zeamais* et *Rhyzopertha dominica*. Après 6 à 7 mois de stockage, les auteurs ont observé 95 à 100% de mortalité des insectes. Le pourcentage de grains troués et le poids moyen de 100 grains n'a pas changé de façon significative dans les sacs à triple fond.

Par ailleurs le pouvoir germinatif des grains conservés dans les sacs à triple fond est resté intact. Cela suggère que les sacs à triple fond n'ont pas d'effet sur le pouvoir germinatif des grains. Les mêmes observations ont été faites par Sanon et *al.* (2011).

5.5. Conclusion partielle

L'évaluation du criblage variétal et de l'utilisation du stockage en atmosphère confinée contre *R. dominica* a permis d'obtenir des résultats satisfaisants. Au niveau du criblage variétal, la variété améliorée blanche de sorgho ICSV 1049 s'est montrée tolérante aux attaques de *R. dominica*. La variété locale de sorgho rouge Kon Koos Buuga s'est montrée la plus sensible. Par ailleurs les sachets de 80 μ m à double couche permettent de contrôler de façon efficace les populations de *R. dominica*. En somme l'utilisation combinée de ces deux méthodes dans une perspective de gestion intégrée de *R. dominica* dans les stocks de sorgho s'avère prometteuse.

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

L'étude de la diversité des ravageurs réalisés au cours de cette thèse a permis de mettre en évidence un cortège exhaustif d'insectes ravageurs associés aux stocks de sorgho paysans et la structuration hiérarchique de ces ravageurs avec une dominance de *Rhyzopertha dominica* F. comme étant le principal ravageur des stocks de sorgho dans la zone nord soudanienne du Burkina Faso. Du fait de son activité alimentaire, *R. dominica* favoriserait dans le temps la colonisation des stocks par d'autres ravageurs, qualifiés de ravageurs secondaires. Ainsi, la mise en place de méthode de lutte ciblée contre *R. dominica* pourrait réduire de manière significative la colonisation des stocks de sorgho par d'autres ravageurs ainsi que les dégâts occasionnés. En effet, l'infestation des grains de sorgho par *R. dominica* débiterait au niveau des concessions lors de la phase de séchage et se poursuivrait durant la conservation des grains dans les structures de stockage. Les données sur la biologie de *R. dominica* montrent que les adultes sont capables de se maintenir sur les grains de sorgho sur une période de 2 à 3 mois. Sa descendance est largement en faveur des femelles. Par rapport à sa population initiale et sur une génération, il est capable d'accroître de 2 à 3 fois sa population initiale sur les grains de sorgho. L'analyse comparée des études de terrain et celles réalisées au Laboratoire montre que les variétés de sorgho à grains rouges sont plus sensibles aux attaques de *R. dominica* comparativement aux variétés ayant des grains blancs. Ces données montrent que *R. dominica* est doté d'une capacité de nuisance non négligeable. Dans l'optique de proposer des méthodes de lutte saines et efficaces contre ce ravageur, deux composantes de lutte intégrée ont été évaluées au cours de cette thèse. Il s'agit de la résistance variétale et du stockage hermétique avec des prototypes de sacs à triple fond. L'évaluation de ces deux méthodes pour le contrôle de *R. dominica* a permis d'aboutir à des résultats satisfaisants. Le criblage variétal a permis de discriminer différentes variétés de sorgho suivant leur degré de sensibilité aux attaques de *R. dominica*. La variété améliorée à grains blancs ICSV 1049 s'est montrée la plus résistante aux

attaques de *R. dominica*, tandis que la variété locale de sorgho rouge Kon Koos Buuga était la plus sensible des variétés testées. Par ailleurs les sachets de 80µm d'épaisseur à double couche, ont permis : (i) d'induire une forte mortalité au niveau des adultes du ravageur ; (ii) d'inhiber le développement des stades intermédiaires ; (iii) de ralentir l'accroissement des populations de *R. dominica* et (iv) de réduire l'activité alimentaire de tous les stades de développement du ravageur.

Au regard des résultats obtenus au cours de cette étude, nous pouvons formuler les recommandations suivantes :

- Améliorer l'environnement de stockage des grains en milieu paysan par le nettoyage et la désinsectisation des structures de stockage des grains avant d'y introduire les nouvelles récoltes.
- Intégrer le criblage des variétés contre les principaux ravageurs des stocks dans le programme de création variétale des unités de sélection des céréales de l'INERA. Cet aspect n'est généralement pas pris en compte pour les céréales contrairement aux graines de légumineuses du fait d'une plus grande sensibilité aux ravageurs de façon générale ;
- Etendre le programme de vulgarisation des sacs à triple fond pour la conservation des grains de sorgho et d'autres denrées comme le maïs et le mil. L'étude que nous avons réalisée en 2008 (Waongo et *al.*, 2013) dans la zone Sud-soudanienne du Burkina Faso, a montré que *R. dominica* est également le principal ravageur de ces denrées.

Au terme de cette étude, nous ébauchons les perspectives de recherches suivantes :

- Evaluer les pertes dues aux insectes ravageurs des stocks de sorgho en milieu paysan ;
- Identifier les facteurs de résistance des grains de sorgho vis-à-vis de *R. dominica* ;
- Evaluer l'efficacité de la combinaison du criblage variétal et des sacs à triple fond pour le contrôle de *R. dominica* dans les stocks ;

- Procéder à une caractérisation moléculaire des populations de *R. dominica* de chacune des zones agro écologiques du Burkina Faso ;
- Evaluer le statut de *R. dominica* sur les autres céréales cultivées au Burkina Faso ;
- Procéder à une évaluation comparative de la sensibilité des principales variétés de céréales produites au Burkina Faso vis-à-vis de *R. dominica*.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Adetunji J. F., 1988.** A study of the resistance of some sorghum seed cultivars to *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera: Curculionidae). *J. Stored Prod. Res.*, 24(2): 67-71.
- Aidoo K. E. 1993.** Post-harvest storage and preservation of tropical crops. *Int. Biodeterior. Biodegrad.*, 32: 161-173.
- Ajayi O. & Ratnadass A., 1998.** Sorghum insect pest distribution and losses in West and Central Africa. In : Amélioration du sorgho et de sa culture en Afrique de l'Ouest et du Centre. Actes de l'atelier de restitution du programme conjoint sur le sorgho. Bamako, CIRAD-CA, pp. 81-90.
- Alexandratos N. & Bruinsma. J., 2012.** “World agriculture towards 2030/2050: the saving water. From Field to Fork-Curbing Losses and Wastage in the Food Chain 2012 revision.” Working paper: FAO: ESA No. 12-03, p.4.
- Appert J., 1985 a.** Stockage des produits vivriers et semenciers Tome 1 : Dégâts, pertes et moyens de stockage. Editions Maisonneuve et Larousse, Paris, France. 225 p.
- Appert J., 1985 b.** Stockage des produits vivriers et semenciers Tome 2 : Lutte contre les ravageurs, hygiène de stockage. Editions Maisonneuve et Larousse, Paris, France. 225 p.
- Arnason J. T., Conilh de Beyssac B., Philogene B. J. R., Bergvinson D., Serratos J. A. & Mihm J. A., 1994.** Mechanisms of Resistance in Maize Grain to the Maize Weevil and the Larger Grain Borer. In: Insect Resistant Maize Recent Advances and Utilization, Proceedings of an International Symposium held at the International Maize and Wheat Improvement Center. p. 91-95.

- Arthur F. H., 1992.** Control of lesser grain borer (Coleoptera: Bostrichidae) with chlorpyrifos-methyl, bioresmethrin and resmethrin: effect of chlorpyrifos-methyl resistance and environmental degradation. *J. Econ. Entomol.*, 85: 1471–1475.
- Arthur F. H., Bautista R. C. & Siebenmorgen T. J., 2007.** Influence of growing location and cultivar on *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrichidae) and *Sitophilus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae) infestation of rough rice. *Insect Sci.*, 14, 231–239.
- Aslam M., Hagstrum D. W. & Dover B. A., 1994.** The effect of photoperiod on the flight activity and biology of *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrichidae). *J. Kansas Entomol. Soc.*, 67: 107-115.
- Athié I. & Mills K. A., 2005.** Resistance to Phosphine in Stored-Grain Insect Pests in Brazil. *Braz. J. Food Technol.*, 8(2): 143-147.
- Aulakh J. & Regmi A., 2013.** Post-harvest food losses estimation-development of consistent methodology. 34p.
- Awika, J. M. & Rooney, L.W., 2004.** Sorghum phytochemicals and their potential impact on human health. *Phytochemistry*, 65 : 1199–1221.
- Bal A. B., 2005.** Entomofaune des panicules de sorgho et effet des dates de semis et des variétés sur les populations de *Stenodiplosis sorghicola* (Dipt. Cecidomyiidae) et *Eurystylus oldi* (Hemipt.: Miridae) et les pertes de rendement. *Tropicultura*, 23(3) : 177-182.
- Baoua I. B., Amadou L., Baributsa D., Murdock L. L., 2014b.** Triple bag hermetic technology for post-harvest preservation of Bambara groundnut (*Vigna subterranea* (L.) Verdc.). *J. Stored Prod. Res.*, 58: 48-52.

- Baoua I. B., Amadou L., Ousmane B., Baributsa D., Murdock L. L., 2014a.** PICS bags for post-harvest storage of maize grain in West Africa. *J. Stored Prod. Res.*, 58: 20-28.
- Baoua I. B., Margam V., Amadou L. & Murdock L. L., 2012.** Performance of triple bagging hermetic technology for postharvest storage of cowpea grain in Niger. *J. Stored Prod. Res.*, 51, 81-85.
- Baributsa D., Lowenberg-DeBoer J., Murdock L. & Moussa B., 2010.** Profitable chemical-free cowpea storage technology for smallholder farmers in Africa: opportunities and challenges 10th International Working Conference on Stored Product Protection, Estoril, Portugal. Proceedings of the 10th International Working Conference on Stored-Product Protection, 27 June 2 July, 2010, Estoril, Portugal. Julius-Kuhn-Archiv 425, 1046-1053.
- Barro-Kondombo C. P., Vom Brocke K., Chantereau J., Sagnard F. & Zongo J-D., 2008.** Variabilité phénotypique des sorghos locaux de deux régions du Burkina Faso : la Boucle du Mouhoun et le Centre-Ouest. *Cahiers Agricultures*, 17(2): 107-113.
- Bashir T., 2000.** Pheromone communication and host finding behavior of *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera: Bostrichidae). Ph.D. dissertation, University of Greenwich, U.K.
- Bastow J. W., 1991.** Methods for fitting dominance/diversity curves. *J. Veg. Sci.*, 2: 35-46.
- Belda C. et Riudavets J., 2010.** Distribution of insect pests and their natural enemies in a barley pile. Proceedings of the 10th International Working Conference on Stored Product Protection, 27 June-2 July 2010, Estoril, Portugal (Editors Carvalho M. O.; Fields P. G.; Adler C. S.; Arthur F. H. et al.), pp. 741-745.
- Belton P. S. et Taylor J. R. N., 2004.** Sorghum and millets: protein sources for Africa. *Trends Food Sci. Tech.*, 15: 94-98.

- Birch L. C., 1945.** The mortality of the immature stages of *Calandra oryzae* L. (small strain) and *Rhizopertha dominica* Fab. in wheat of different moisture contents. *Aust. J. Exp. Biol. Med. Sci.*, 23 : 141-145.
- Bonzi M., 1979.** La cécidomyie du sorgho, *Contarinia sorghicola* Coq. en Haute Volta, Possibilités de lutte. Comptes rendus du congrès sur la lutte contre les insectes en milieu tropical, Chambre de Commerce et d'Industrie de Marseille, 13-16 mars. 531-541.
- Borcard D., Gillet F., Legendre P., 2011.** Numerical ecology in R. Springer, New York, 306p.
- Brader L., 1986.** Problems of pesticides usage in tropics. *J. Plant Prot. Trop.*, 3 (1): 1-11.
- Breese M. H., 1960.** The infestibility of stored paddy by *Sitophilus sasakii* (Tak.) and *Rhizopertha dominica* (F.). *Bull. Entomol. Res.*, 51: 599-630.
- Brower J. H., et Tilton E. W., 1973.** Weight loss of wheat infested with gamma-radiated *Sitophilus oryzae* (L.) and *Rhizopertha dominica* (F.). *J. Stored Prod. Res.*, 9: 37-41.
- Calderon M. et Navarro S., 1979.** Increased toxicity of low oxygen atmospheres supplemented with carbon dioxide on *Tribolium castaneum* adults. *Entomol., Exp., Appl.*, 25: 39-44.
- Calderon M. et Navarro S., 1980.** Synergistic effect of CO₂ and O₂ mixtures on two stored grain insect pests. In: Shejbal, J. (Ed.), *Controlled Atmosphere Storage of Grains*. Amsterdam, Elsevier, pp.79-84.
- Campbell A. et Sinha R. N., 1976.** Damage of wheat by feeding of some stored product beetles. *J. Econ. Entomol.*, 69: 11-13.

- Carvalho M. O., Faro A. et Subramanyam, B., 2013.** Insect population distribution and density estimates in a large rice mill in Portugal - A pilot study. *J. Stored Prod. Res.*, 48-56.
- Caswell G., 1961.** The infestation of cowpeas in the Western region of Nigeria. *Trop. Sci.*, 3: 154-158.
- Champ B. R. et DYTE C. E., 1976.** Report of the FAO Global Survey of Pesticide Susceptibility of Stored Grain Pests, FAO, Rome, 297 p.
- Chandrashekar A et Satyanarayana K. V., 2006.** Disease and pest resistance in grains of sorghum and millets. *Journal of Cereal Science*, 44: 287-304.
- Chandrashekar A. & Satyanarayana K. V., 2006.** Review Disease and pest resistance in grains of sorghum and millets. *J. Cereal Sci.*, 44 : 287-304.
- Chanterau J. & Nicou R., 1991.** Le sorgho. Paris, France, éditions Maisonneuve et Larousse, 225 p.
- Chaudhry M. Q. & Price N. R., 1990.** Insect mortality at doses of phosphine which produce equal uptake in susceptible and resistant strains of *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera: Bostrychidae). *J. Stored Prod. Res.*, 26(2): 101-107.
- Chijindu E. N., Boateng B. A., Ayertey J. N, Cudjoe A. R. et Okonkwo N. J., 2008.** The effect of processing method of cassava chips on the development of *Prostephanus truncatus* (Horn) (Coleoptera: Bostrichidae). *Afr. J. Agric. Res.*, 3(8): 537-541.
- Chittenden F. H., 1911.** The lesser grain borer and the larger grain borer. *Bulletin of United State Bureau of Entomology*, 96: 29-47.

- Chuck-Hernández C., Serna-Saldívar S. O. & García-Lara, S., 2013.** Susceptibility of different types of sorghums during storage to *Sitophilus zeamais* Motschulsky. *J. Stored Prod. Res.*, 54: 34-40.
- Clerget B., Dingkuhn M., Chantereau J., Hemberger J., Louarn G. & Vaksman M., 2004.** Does panicle initiation in tropical sorghum depend on day-to-day change in photoperiod. *Field Crops Res*, 88 (1) : 21-37.
- CNC (Comité National des Semences), 2014.** Catalogue national des espèces et variétés agricoles du Burkina Faso. 81p.
- Crombie A. C., 1941.** On oviposition, olfactory conditioning and host selection in *Rhyzopertha dominica* Fab. (Insecta, Coleoptera). *J. Exp. Biol.*, 18: 62-79.
- Crombie A. C., 1944.** On intraspecific and interspecific competition in larvae of graminivorous insects. *J. Exp. Biol.*, 20 : 135-151.
- Cruz J. F., Troude F., Griffon D. & Hébert J. P., 1988.** Conservation des graines en régions chaudes. 2 éd. Coll. Minist. Fr coop et Dév. <<Techniques rurales en Afrique>>, CEEMAT/CIRAD, Montpellier, 545 p.
- Dabiré C. B., Sanon A., Ba M., Yelemou et Baributsa D., 2014.** Food Security in Africa: an Innovative Cowpea Storage Technique. CTA and FARA. Agricultural Innovations for Sustainable Development: Contributions from the 3rd Africa-Wide Women and Young Professionals in Science Competitions. Volume 4 Issue 3 : 50-59.
- Dajoz R., 2000.** Précis d'écologie. 7ème Edition. Dunod, Paris, p. 615.
- Dakouo D., 1996.** La cécidomyie du sorgho : bioécologie et pertes. In: Ratnadass A, Ajayi O, Marley PS, Akintayo I, eds. Les insectes ravageurs du sorgho en Afrique de l'Ouest et du

- Centre. Actes de l'atelier de formation ROCARS-Icrisat-Cirat, 14-23 octobre 1996, Samanko (Mali). Colloques. Montpellier : Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (Cirad), 2001 ; 4 p. (cédérom).
- Dakouo D., Trouche G., Malick N. B., Neya A. & Kaboré K. B., 2005.** Lutte génétique contre la cécidomyie du sorgho, *Stenodiplosis sorghicola*: une contrainte majeure à la production du sorgho au Burkina Faso. *Cah. Agric.*, 14(2): 201-208.
- Daxl R., Kaserlingk N.V., Klein-Koch C., Link R. & Waibel H., 1995.** La lutte intégrée contre les ennemis des cultures : un memento. GTZ, Eschborn, 135p.
- De'ath G., 2012.** mvpart: Multivariate partitioning. R package version 1.6-0. <http://CRAN.R-project.org/package=mvpart>.
- Delobel A. & Tran M., 1993.** Les coléoptères des denrées alimentaires entreposées dans les régions chaudes. Paris, France, éditions ORSTOM. p. 425.
- DeWet J. M. J., Harlan J. R. et Price E. G., 1976.** Variability in *Sorghum bicolor*. Pages 453-464 in *Drigins of African Plant Domestication*. (Harlan J. R.; DeWet J. M. J et Stemter A. B. L., eds.). The Hague, Netherlands: Mountain Press.
- DGPER, 2013.** Résultats définitifs de la campagne agricole et de la situation alimentaire et nutritionnelle 2012/2013. Janvier 2013. 50 p.
- Dlamini N. R., Taylor J. R. N. & Rooney L. W., 2007.** The effect of sorghum type and processing on the antioxidant properties of African sorghum-based foods. *Food Chem.*, 105: 1412–1419.
- Doggett H., 1975.** The breeding of Sorghum in East Africa. I. Weevil resistance in corn grain. *Empire J. Exp. Agric.*, 25(97) : 37-46.

- Doumbia Y. O., 1988.** Les insectes nuisibles au sorgho au Mali. In : Mil et Sorgho au Mali. Bamako, Mali, ICRISAT/IER, Mali, pp. 261-264.
- Doutt R. L., 1959.** The biology of parasitic hymenoptera. *Ann. Rev. Entomol.*, 4: 161-182.
- Dray S. & Dufour A. B., 2007.** The ade4 package: implementing the duality diagram for ecologists. *J. Stat. Softw.*, 22(4), 1-20.
- Dykes L. & Rooney L. W., 2006.** Sorghum and millet phenols and antioxidants. *J. Cereal Sci.*, 44: 236–251.
- Dykes L., Rooney L. W., Waniska R. D. et Rooney W. L., 2005.** Phenolic compounds and antioxidant activity of sorghum grains of varying genotypes. *J. Agricult. Food Chem.*, 53: 6813–6818.
- Edde P. A. et Phillips T. W., 2006.** Longevity and pheromone output in stored-product Bostrichidae. *Bull. Entomol. Res.*, 96: 547-554.
- Edde P. A., 2012.** A review of the biology and control of *Rhyzopertha dominica* (F.) the lesser grain borer. *J. Stored Prod. Res.*, 48: 1-18.
- Edde P. A., Phillips T. W. et Toews M. D., 2005.** Responses of *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrichidae) to its aggregation pheromones as influenced by trap design, trap height and habitat. *Environ. Entomol.*, 34(6) : 1549-1557.
- Elmouttie D., Kiemeier A. et Hamilton G., 2010.** Improving detection probabilities for pests in stored grains. *Pest Manag. Sci.*, 66 : 1280-1286.
- FAO et ICRISAT, 1997.** L'économie mondiale du sorgho et du mil : Faits, Tendances et Perspectives. FAO, Rome, Italie, ISBN 92-5-203861-2, 66 p.

- FAO, 1998.** Synthèse de l'expérience africaine en amélioration des techniques après-récoltes. FAO Agricultural Services Bulletin.
- FAOSTAT, 2013.** Available at: <http://faostat.fao.org/default.aspx?lang¼en>.
- Fargo W. S., Epperly D., Cuperus G. W., Noyes R. T. et Clary B. L., 1989.** Influence of temperature and duration on trap capture of stored-grain insect species. *J. Econ. Entomol.*, 82, 970-973.
- Farrell G. et Haines C. P., 2002.** The taxonomy, systematics and identification of *Prostephanus truncatus* (Horn). *Integrated Pest Manag. Rev.*, 7: 85-90.
- Fields P. G., 1992.** The control of stored-product insects and mites with extreme temperatures. *J. Stored Prod. Res.*, 28, 89-118.
- Fisher W. S., 1950.** A Revision of the North America Species of Beetles Belonging to the Family Bostrichidae. In : Miscellaneous Publication, vol. 698. USDA, Washington, DC.
- Foua-Bi K., 1989.** Céréales des régions chaudes : Conservation et transformation. Edité par Michel Parmentier et Kouakou Fouad-bi. AUPELF-UREF. Ads John Libbey Eurotext, Paris. Pp. 97-104.
- Fujii K. et Wai K. M., 1990.** Sex ratio determination in three wasp species ectoparasitic on bean weevil larvae. In: Bruchids and legumes: economics, ecology and coevolution. Fujii K. et al. (Eds.), Kluwer Academic Publisher, Netherlands. pp. 331-340.
- García-Lara Silverio, Ortíz-Islas Sofia et Villers Philippe, 2013.** Portable hermetic storage bag resistant to *Prostephanus truncatus*, *Rhyzopertha dominica*, and *Callosobruchus maculatus*. *J. Stored Prod. Res.*, 54 : 23-25.

- Genest C., Traoré A. et Bamba P., 1990.** Guide pratique de : protection des grains entreposés. Coop. CANADO-BURKINABE. MAE. ACDI, 105p.
- Ghorpade K. D. et Thyagarajan K. S., 1980.** A reliable character for sexing live or dead *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera: Bostrichidae). *J. Stored Prod. Res.*, 16: 151-153.
- Gwinner J., Harnish R. et Mück O., 1996.** Manuel sur la conservation des grains après la récolte. Eschborn, Allemagne, GTZ, 368 p.
- Hagstrum D. W. et Flinn P. W., 1994.** Survival of *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrichidae) in stored wheat under fall and winter temperature conditions. *Environ. Entomol.*, 23, 390-395.
- Hagstrum D. W., 2001.** Immigration of insects into bins storing newly harvested wheat on 12 Kansas farms. *J. Stored Prod. Res.*, 37: 221-229.
- Halstead D. G., 1963.** External sex differences in stored-products Coleoptera. *Bull. Entomol. Res.*, 54, 119-134.
- Harein, P. et Meronuck R., 1995.** Stored grain losses due to insects and molds and the importance of proper grain management, pp. 29-31. In V. Krischik, G. Cuperus and D. Galliard (eds.), *Stored product management*. Oklahoma State University, Coop. Exten. Serv. Circ. E-912.
- Harlan J. R. et De Wet J. M. J., 1972.** A simplified classification of cultivated sorghum. *Crop Sci.*, 12: 172-176.
- Herve M., 2011.** Aide - mémoire de statistique appliquée à la biologie : Construire son étude et analyser les résultats à l'aide du logiciel R. 2ème version.
- Hoppe T., 1986.** Storage insects of basic food grains in Honduras. *Trop. Sc.*, 26(1): 25-38.

- Howe R. W., 1950.** The development of *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera: Bostrichidae) under constant temperature. *Entomol. Mon. Mag.*, 86: 1-5.
- Huang, F. et Subramanyam, B., 2005.** Management of five stored-product insects in wheat with pirimiphos-methyl and pirimiphos-methyl plus synergized pyrethrins. *Pest. Manag. Sci.*, 61: 356–362.
- Hurley C., 2012.** gclus: Clustering Graphics. R package version 1.3.1. <http://CRAN.R-project.org/package=gclus>.
- ILO - WEP, 1986,** Le Stockage du Grain, 140 p.
- INSD, 2008.** Recensement general de la population et de l'habitation de 2006: Résultats définitifs. 52p.
- Jia F., Toews M. D., Campbell J., F. et Ramaswamy S. B., 2008.** Survival and reproduction of lesser grain borer, *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera: Bostrichidae) on flora associated with native habitats in Kansas. *J. Stored Prod. Res.*, 44: 66-372.
- Jilani G., Saxena R. C. et Khan A. A., 1989.** Ethylene production as an indicator of germination and vigor loss in stored rice seed infested by *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera: Bostrichidae). *J. Stored Prod. Res.*, 25: 175–178.
- Jood S. et Kapoor A. C., 1993.** Protein and uric acid contents of cereal grains as affected by insect infestation. *Food Chem.*, 46: 143–146.
- Jood S., Kapoor A. C. et Singh R., 1996.** Effects of insect infestation and storage on lipids of cereal grains. *J. Agricult. Food Chem.*, 44, 1502–1506.

- Jood S., Kapoor A. C. et Singh, R., 1995.** Amino acid composition and chemical evaluation of protein quality of cereals as affected by insect infestation. *Plant Foods Hum. Nutr.*, 48: 159–167.
- Kasarda D. D. et D'Ovidio R., 1999.** Deduced amino acid sequence of an a-gliadin gene from spelt wheat (spelta) includes sequences active in celiac disease. *Cereal Chem.*, 76, 548-551.
- Kindt R. et Coe R., 2005.** Tree diversity analysis. A manual and software for common statistical methods for ecological and biodiversity studies. World Agroforestry Centre (ICRAF), Nairobi. ISBN 92-9059-179-X.
- Koehler P. G., Kern W. H. et Castner J. L., 2006.** Stored Product Pests: SP128 of the Entomology and Nematology Department, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida.
- Kossou D. K. et Aho N., 1993.** Stockage et conservation des grains alimentaires tropicaux. Principes et pratiques. Flamboyant Ed. Cotonou, 125p.
- Krishnamurthy K., Raghunatha G., Rajashekara B. G. et Ali T. M. M., 1978.** Differential resistance of sorghum genotypes to stored grain insect pests. *Bull. Grain Technol.*, 14 (3): 206-210.
- Kučerová Z. et Stejskal V., 2008.** Differences in egg morphology of the stored-grain pests *Rhyzopertha dominica* and *Prostephanus truncatus* (Coleoptera: Bostrichidae). *J. Stored Prod. Res.*, 44: 103–105.
- Lamboni Y. et Hell K., 2009.** Propagation of mycotoxigenic fungi in maize stores by post-harvest insects. *Int. J. Trop. Insect Sci.*, 29(1): 31-39.

- Lavigne R. J., 1991.** Stored grain insects in underground storage pits in Somalia and their control. *Insect Sci. Appl.*, 12(5-6): 571-578.
- LeCato G. L et Flaherty B. R., 1974.** Description of Eggs of Selected Species of Stored-Product Insects (Coleoptera and Lepidoptera). *J. Kansas Entomol. Soc.*, 47(3): 308-317.
- Lorini I. et Collins P. J., 2006.** Resistance to Phosphine in *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera: Bostrychidae) collected from wheat storages in Brazil. In: Proc. Ninth International Working Conference on Stored-product Protection, 15 to 18 October 2006, Campinas, São Paulo, Brazil. Brazilian Post-harvest Association - ABRAPOS, Passo Fundo, RS, Brazil, pp. 319-323.
- Lorini I. et Galley D. J., 1999.** Deltamethrin resistance in *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera: Bostrychidae), a pest of stored grain in Brazil. *J. Stored Prod. Res.*, 35: 37–45.
- Lorini I., Collins P. J., Daghish G. J., Nayak M. K. et H. Pavic, 2007.** Detection and characterisation of strong resistance to phosphine in Brazilian *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera: Bostrychidae). *Pest Manag. Sci.*, 63(4): 358-364.
- Loschiavo S. R. et Smith L. B., 1970.** Distribution of the merchant grain beetle, *Oryzaephilus mercator* (Silvanidae: Coleoptera) in Canada. *Can. Entomol.*, 102(08): 1041-1047.
- Maechler M., Rousseeuw P., Struyf A., Hubert M. et Hornik, K., 2012.** cluster: Cluster Analysis Basics and Extensions. R package version 1.14.2.
- Magurran A. E., 2004.** Measuring Biological Diversity. Blackwell Publishing: Malden, Oxford and Victoria, p 256.

- Mann J. A., Kimber C. T., Miller F. R., 1983.** The origin and early cultivation of sorghums in Africa, Bulletin No. 1454. Texas A & M University, College Station, TX
- Maunder A. B., 2002.** Sorghum worldwide. In Sorghum and millet diseases, ed. J. F. Leslie, 11–17. Ames: Iowa State Press.
- Medeiros, 1997.** Modifications et développement d'un nouveau module de contrainte hydrique dans le modèle CERES-sorghum sucrier. Thèse doctorale. Institut National Paris-Grignon, 113 pp.
- Mémento de l'agronome, 2002.** Agriculture spéciale : les plantes comestibles. Editions du GRET, Editions du CIRAD, Ministère Français des affaires étrangères. ISBN 2-86844-129-7. P. 811-814.
- Mukherjee P. S. et Nandi B., 1993.** Insect–fungus associations influencing seed deterioration in storage. *Journal of Mycopathology Research*, 31: 87-92.
- Murdock L. L et Baoua I., 2014.** On Purdue Improved Cowpea Storage (PICS) technology: Background, mode of action, future prospects. *J. Stored Prod. Res.*, 58: 3-11.
- Murdock L. L., Margam V., Baoua I., Balfe S. et Shade R. E., 2012.** Death by desiccation: effects of hermetic storage on cowpea bruchids. *J. Stored Prod. Res.*, 49: 166-170.
- Murty D. S., et Kumar K. A., 1995.** Traditional uses of sorghum and millets. In Sorghum and millets: Chemistry and technology, ed. D. A. V. Dendy, 185–221. St. Paul, MN: American Association of Cereal Chemists.
- Mvumi B. M., Golob P., Stathers T. E. et Giga D. P., 2002.** Insect population dynamics and grain damage in small-farm stores in Zimbabwe, with particular reference to *Sitotroga cerealella* (Olivier) (Lepidoptera: Gelechiidae). In: P.F. Credland, D.M. Armitage, C.H.

- Bell, P.M. Cogan and E. Highley, Proceedings of the 8th International Working Conference on Stored Product Protection, pp. 151-168. York, UK.
- Nansen C., Flinn P., Hagstrum D., Toews M. I. D. et Meikle W. G., 2009.** Interspecific associations among stored-grain beetles. *J. Stored Prod. Res.*, 45: 254-260.
- Nawrot J. , Warchalewski J. R., Piasecka-Kwiatkowska D., Niewiada A., Gawlak M., Grundas S. T., Fornal J., 2006.** The effect of some biochemical and technological properties of wheat grain on granary weevil (*Sitophilus granarius* L.) (Coleoptera: Curculionidae) development. Proceedings of the 9th International Working Conference on Stored Product Protection, 15 to 18 October 2006, Campinas, São Paulo, Brazil. Brazilian Post-harvest Association - ABRAPOS, Passo Fundo, RS, Brazil, 2006. (ISBN 8560234004), 400-407.
- Neuwirth E., 2011.** RColorBrewer: ColorBrewer palettes. R package version 1.0-5. <http://CRAN.R-project.org/package=RColorBrewer>.
- Ngamo L. S. T., 2000.** Integrated protection of stocks of cereals and legumes. *Bul. Info. Phyto.* 43 (13).
- Nguyen D. T., Hodges R. J. et Belmain S. R., 2008.** Do walking *Rhyzopertha dominica* (F.) locate cereal hosts by chance? *J. Stored Prod. Res.*, 44: 90-99.
- Nukenine E. N., 2010.** Stored product protection in Africa: Past, present and future. Proceedings of the 10th International Working Conference on Stored Product Protection, 27 June-2 July 2010, Estoril, Portugal (Editors Carvalho, M.O.; Fields, P.G.; Adler, C.S.; Arthur, F.H. et al), pp. 26-41.
- Nwanzé K. F., 1988.** Distribution and seasonal incidence of some major insect pests of sorghum in Burkina Faso. *Insect Sci. Appl.*, 9: 313-21.

- Nyabyenda P., 1995.** Les plantes cultivées en régions tropicales d'altitude. Les presses agronomiques de gembloux. Belgique, ISBN 2-87016-072-0. P. 145-168.
- Odeyemi O. O. et Daramola A. M., 2000.** Storage practices in the tropics: Food storage and pest problems. First Edition, Dave Collins Publication, Nigeria, Vol. 1, p. 235.
- Oksanen J., Blanchet G.F., Kindt R., Legendre P., Minchin P. R., O'Hara R. B., Simpson G. L., Solymos P., Stevens M. H. H., Wagner H., 2012.** vegan: Community Ecology Package. R package version 2.0-4. <http://CRAN.R-project.org/package=vegan>.
- Ouedraogo A. P., Sou S., Sanon A., Monge J. P., Huignard J., Tran M. D. et Credland P. F., 1996.** Influence of temperature and humidity on populations of *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Bruchidae) and its parasitoid *Dinarmus basalis* (Pteromalidae) in two zones of Burkina Faso. *Bull. Entomol. Res.*, 86: 695-702.
- Park S. H., Arthur F. H., Bean S. R. et Schober T. J., 2008.** Impact of differing population levels of *Rhyzopertha dominica* (F.) on milling and physicochemical properties of sorghum kernel and flour. *J. Stored Prod. Res.*, 44: 322-327.
- Pimentel M. A. G., Faroni L. R. D. A., Tótola M. R. et Guedes R. N. C., 2007.** Phosphine resistance, respiration rate and fitness consequences in stored-product insects. *Pest Manag. Sci.*, 63 : 876–881.
- Potter C., 1935.** The biology and distribution of *Rhyzopertha dominica* (FAB.). *Trans. R. Entomol. Soc. Lond.*, 83: 449-482.
- Ramalho F. S., Nagai Y. et Angeluci E., 1977.** CPATSA, Petrolina, Pernambuco Brazil. Behavior of Sorghum varieties in relation to *Sitophilus oryzae*. *Sorghum Newsletter*, 20, 5.

- Ramputh A., Teshome A., Bergvinson D. J., Nozzolillo C. et Arnason J. T., 1999.** Soluble phenolic content as an indicator of sorghum grain resistance to *Sitophilus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae). *J. Stored Prod. Res.*, 35: 57-64.
- Rao H. R. G. et Wilbur D. A., 1972.** Loss of wheat weight from feeding of lesser grain borer. *J. Kansas Entomol. Soc.*, 45: 238-241.
- Ratnadass A, Berte S., Diarra D. et Cisse, B., 1994.** Insect losses on sorghum stored in selected Malian villages, with particular emphasis on varietal differences in grain resistance. Proceeding of the 6th International working conference on stored product protection Vol 2, Canberra, Australia (Editors Highley E., Wright E.J., Banks H.J., Champ B.R.), pp. 953-959.
- Ratnadass A. et Sauphanor B., 1989.** Les pertes dues aux insectes sur les stocks paysans de céréales en Côte d'ivoire. Cereales en regions chaudes AUPELF-UREF, Eds John Libhey Eurotext, pp. 47-56.
- Reed C. R., Hagstrum D. W., Flinn P. W. et Allen R. F., 2003.** Wheat in bins and discharge spouts and grain residues on floors of empty bins in concrete grain elevators as habitats for stored-grain beetles and their natural enemies. *J. Econ. Entomol.*, 96, 996–1004.
- Rees D., 2007.** Insects of stored products. C.S.I.R.O.
- Roberts D. W., 2012.** labdsv: Ordination and Multivariate Analysis for Ecology. R package version 1.5-0. <http://CRAN.R-project.org/package=labdsv>.
- Rooney L. W., 2004.** Sorghum improvement-Integrating traditional and new technology to produce improved genotypes. *Adv. Agron.*, 83: 37-109.

- Russell M. P., 1962.** Effect of sorghum varieties on lesser rice weevil, *Sitophilus oryzae* L. I. Oviposition immature mortality and size of the adults. *Ann. Entomol. Soc. Amer.*, 55(6): 678-685.
- Russell M. P., 1966.** Effects of four sorghum varieties on the longevity of the lesser rice weevil, *Sitophilus oryzae* (L.). *J. Stored Prod. Res.*, 2(1): 75-79.
- Sakamoto Y, Ishiguro M. et Kitagawa, G., 1986.** Akaike Information Criterion Statistics. D. Reidel Publishing Company.
- Sanon A., Dabiré-Binso L. C. et Ba N. M., 2011.** Triple-bagging of cowpeas within high density polyethylene bags to control the cowpea beetle *Callosobruchus maculatus* F. (Coleoptera: Bruchidae). *J. Stored Prod. Res.*, 47:210-215.
- Sautier D. et O'deye M., 1989.** Mil, Mais, Sorgho - Techniques et alimentation au Sahel, Paris, Harmattan, 171 p.
- Schwardt H. H., 1933.** Life history of the lesser grain borer. *J. Kans. Entomol. Soc.*, 2: 61-66.
- Scotn G., 1973.** Les insectes et les acariens des céréales stockées. AFNOR/TTCF, Paris, 238p.
- Seifelnasr Y. E., 1992.** Stored grain insects found in sorghum stored in the central production belt of Sudan and losses caused. *Trop. Sci.*, 32(3): 223-230.
- Shazali M. E. H. et Ahmed M. A., 1998.** Assessment and reduction of losses in sorghum stored in traditional mud bins in Sudan. *Trop. Sci.*, 38: 155-160.
- Shazali M. E. H., El Hadi A. R. et Khalifa A. M., 1996.** Storability of Sorghum grain in traditional and improved matmorras (storage pits) in Sudan. *Trop. Sci.*, 36: 182-192.

- Shehzad H., Munir A. et Muhammad A., 2014.** Assessment of *Sitotroga cerealella* losses in different sorghum varieties under controlled conditions. *Arch. Phytopathology. Plant. Protect.*, 47(8): 993-999.
- Sinclair E. R., 1982.** Population estimates of insect pests of stored products on farms on the Darling Downs, Queensland. *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.*, 22 : 127-132.
- Tamgno B. R. et Ngamo T. S. L., 2013.** Diversity of Stored Grain Insect Pests in the Logone Valley, from Northern Cameroon to Western Chad Republic in Central Africa. *J. Agric. Sci. Technol.*, A3-724-731.
- The World Bank, 2011.** Missing food: the postharvest grain losses in Sub-Saharan Africa. The World Bank, NRI and FAO. 96p.
- Thompson V., 1966.** Biology of the lesser grain borer, *Rhyzopertha dominica* F. *Bull. Grain Technol.* 4, 163-168.
- Throne J. E., et Cline L. D., 1994.** Seasonal flight activity and seasonal abundance of selected stored-product Coleoptera around grain storages in South Carolina. *J. Agric. Entomol.*, 11: 321-338.
- Toews M. D., Campbell J. F., Arthur F. H. et Ramaswamy S. B., 2006.** Outdoor flight activity and immigration of *Rhyzopertha dominica* into seed wheat warehouses. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 121:73–85.
- Toews M. D., Cuperus G. W. et Phillips T. W., 2000.** Susceptibility of eight US wheat cultivars to infestation by *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrichidae). *Environ. Entomol.*, 29: 250–255.

- Traoré S., Ouédraogo I. et Bama B. H., 1996.** Importance de *Prostephanus truncatus* (Horn) (Coleoptera : Bostrichidae) et des autres insectes des stocks de maïs dans les entrepôts céréaliers du Burkina Faso. In La lutte intégrée contre les insectes nuisibles au maïs dans les greniers ruraux, avec une référence particulière au grand capucin du maïs, *Prostephanus truncatus* (Horn) (Coleoptera : Bostrichidae), et l'avenir du secteur post-récolte en Afrique subsaharienne. Edité par Borgemeister C., Bell C. et Zweigert M. Compte rendu d'une réunion, Cotonou (Bénin), du 13 au 15 Octobre 1997.
- Vela-Coiffier E. L., Fargo W. S., Bonjour E. L., Cuperus G. W. et Warde W. D., 1997.** Immigration of insects into on-farm stored wheat and relationships among trapping methods. *J. Stored Prod. Res.*, 33 : 157-166.
- Waage J. K., 1992.** Introduction à la lutte biologique contre les insectes nuisibles. In PNUD/FAO Ed. *Manuel de lutte biologique*, 16-21.
- Walker K., 2006.** Lesser grain borer (*Rhyzopertha dominica*) Updated on 9/6/2011. Available online: PaDIL - <http://www.padil.gov.au>
- Waongo A., Yamkoulga M., Dabire B. C. L., Ba M. N. et Sanon A., 2013.** Conservation post-récolte des céréales en zone sud-soudanienne du Burkina Faso : Perception paysanne et évaluation des stocks. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 7(3): 1157-1167.
- Wehling R. L., Wetzel D. L. et Pedersen J. R., 1984.** Stored wheat insect infestation related to uric acid as determined by liquid chromatography. *J. Assoc. Off. Anal. Chem.*, 68: 644–647.
- Weidner H. et Rack G., 1984.** Tables de détermination des principaux ravageurs des denrées entreposées dans les pays chauds. Eschborn, Allemagne, Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), 157 p.

- Widstrom N. W., Redlinger L. M. et Wiser W. J., 1972.** Appraisal of methods for measuring corn kernel resistance to *Sitophilus zeamais*. *Ann. Entomol. Soc. Am.*, 65(3): 790-792.
- Williams H. J., Silverstein R. M., Burkholder W. E. et Khorramshahi A., 1981.** Dominicalure 1 and 2: components of aggregation pheromone from male lesser grain borer *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera: Bostrichidae). *J. Chem. Ecol.*, 7: 759-781.
- Winterbottom D. C., 1922.** Weevil in Wheat and Storage of Grain in Bags. A Record of Australian Experience during the War Period (1915 to 1919). Government Printer, North Terrace, Adelaide, Australian.
- WMO, 1995.** Scientific assessment of ozone depletion: World Meteorological Organization global ozone research and monitoring project. Geneva, report No 37 WMO Switzerland.
- Young W. R. et Teetes G. L., 1997.** Sorghum entomology. *Ann. Rev. Entomol.*, 22, 193-218.