

RESISTANCE DU SORGHO (*SORGHUM BICOLOR* L. MOENCH) AUX LEPIDOPTERES FOREURS DE TIGES: CAS DES VARIETES LOCALES DE CONTRE SAISON DANS LA REGION DE L'EXTREME-NORD, CAMEROUN

[RESISTANCE OF SORGHUM (*SORGHUM BICOLOR* L. MOENCH) TO LEPIDOPTEROUS STEM BORERS: CASE OF OFF SEASON LOCAL VARIETIES IN THE FAR NORTH REGION OF CAMEROON]

Djodda Jacques¹, Nukenine Nchiwan Elias², Ngassam Pierre³, and Djilé Boubou⁴

¹Université de Maroua, Faculté des Sciences, BP 46, Cameroon

²Université de Ngaoundéré, Faculté des Sciences, BP 454 Ngaoundéré, Cameroon

³Université de Yaoundé I, Laboratoire de Biologie générale, Cameroon

⁴Institut de Recherches Agricoles pour le Développement, BP 33 Maroua, Cameroon

Copyright © 2019 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Among cereals, Sorghum is the most consumed as food in the Far North of Cameroon. *Muskuwari*, the off season sorghum, likely is attacked by stem borers (*Sesamia cretica* Lederer), which compromise its yield and reduce cereal supply. And yet ecological control measures to reduce losses are still little known. In order to identify resistant local accession of *Muskuwari*, tests in a Completely Randomized Block design was carried out on ten local varieties under natural infestations during the 2012 and 2013 agricultural campaign. Degrees of infestation were estimated by visual observation and destructive methods. Each year, Seed losses in term of percentage of total harvest loosed, were estimated from 30 ears per variety randomly selected from infested and uninfested. The results showed a large variation in agronomic performance depending on the parameters considered. *Mandouéri*, *Bourgouri*, *Tchangalari* and *Soukatari* with infestation rates ranging from 4% to 11% and seed losses ranging from 0.96% to 23.42% are more tolerant or resistant than other varieties while *Safra's* varieties are always the most susceptible to stem borers with over to 40% seed loss. Therefore, there are resistant or tolerant varieties of *Muskuwari* able to cope with the attacks of stem borers not exploited to mitigated damages. Since varietal resistance is an ecological and easily adoptable option, investigations that could lead to *Muskuwari* varietal improvement could boost cereal supply.

KEYWORDS: Muskuwari, varieties locales, *Sesamia cretica* (Lederer), Diamaré-Maroua.

RÉSUMÉ: Le sorgho constitue la première céréale consommée comme aliment par les populations à l'extrême-nord du Cameroun. Le *Muskuwari*, variété de sorgho produite pourtant en saison sèche, est attaqué par les foreurs de tiges (*Sesamia cretica* Lederer) qui compromettent son rendement et réduisent l'offre en céréale. Et pourtant des mesures de lutte écologique pour réduire les pertes sont encore peu connues. Pour une identification des lignées résistantes de *Muskuwari*, des essais dans un dispositif en Bloc Complètement Randomisé sur dix variétés traditionnelles sous infestations naturelles ont été conduits pendant les campagnes agricoles 2012 et 2013. Les degrés de sévérité ont été estimés par des méthodes d'observation visuelle et destructive. Les pertes en graines ont été estimées à partir de 30 épis par variété choisis au hasard dans les populations des plantes infestées et non infestées. Il en découle une grande variation des comportements agronomiques variétaux selon les paramètres considérés. *Mandouéri*, *Bourgouri*, *Tchangalari* et *Soukatari* avec des taux d'infestation pouvant varier de 4% à

11% et des pertes en graines variant de 0,96% à 23,42% sont plus tolérantes ou résistantes que les autres variétés alors que les variétés *Safra* sont toujours les plus susceptibles aux foreurs de tiges avec plus de 40% de perte en graines. Il existe donc des variétés de *Muskuwari* résistantes/tolérantes à même de faire face aux attaques des foreurs encore mal exploitées. La résistance variétale étant une option écologique et facilement adoptable, des investigations pouvant aboutir à la l'amélioration variétale de *Muskuwari* pourrait booster l'offre en céréale.

MOTS-CLEFS: *Muskuwari*, local varieties, *Sesamia cretica* (Lederer), Diamaré-Maroua.

1 INTRODUCTION

Le sorgho (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), 5^e céréale après le blé (*Triticum aestivum*), le riz (*Oryza sativa*), le maïs (*Zea mays*) et le barley (*Hordeum vulgare*) constitue avec le Maïs et le mil (*Pennisetum glaucum* L.) la première céréale sèche des zones semi-arides des régions tropicales. Il est produit dans plus de 86 pays sur une superficie de plus de 38 millions d'hectares [1]. Elle est produite à travers le monde pour ses graines, pour sa teneur en sucre et pour ses qualités fourragères [2], [3]. Dans l'Extrême-Nord du Cameroun où le sorgho (*Muskuwari*) est aussi produit en contre-saison sans irrigation, il constitue la première céréale consommée comme aliment. Le *Muskuwari* vient donc en complément à la production pluviale du sorgho pour réguler sa disponibilité. Avec la demande en céréale de plus en plus croissante, corollaire de la démographie galopante des pays africains, des efforts considérables sont à fournir pour l'augmentation de sa production et de sa conservation [4], [5] à travers le monde. Le *Muskuwari* malgré qu'il soit produit en saison sèche est en butte aux attaques des Lépidoptères foreurs de tiges, principaux ravageurs dans la zone soudano-sahélienne [6], [7]. Sans mesures de lutte phytosanitaire, option pas toujours à la portée des producteurs africains ; les dégâts, variables selon les saisons agricoles et selon les pratiques culturales (date de repiquage, variété du sorgho, technique de repiquage et les facteurs climatiques tels la température et l'humidité relative), peuvent aller jusqu'à la perte des plus de 60% de la production [8]. Et pourtant des mesures alternatives de mitigation de leurs dégâts sont encore peu connues. L'utilisation des variétés résistantes constitue alors une bonne option en raison de son côté pratique pour les paysans et sa compatibilité avec les autres méthodes de lutte contre les ravageurs. Cette option est d'autant plus efficace que la sélection est faite dans les variétés traditionnelles qui ont l'avantage d'être préadaptées. Notre travail a donc pour objectif principal la détection parmi les variétés traditionnelles de *Muskuwari* la ou les variétés pouvant donner de bon rendement sous infestations naturelles par les Lépidoptères foreurs de tiges par le simple fait de présence des mécanismes de défense naturelles de la plante et de contribuer efficacement à l'établissement d'un plan de lutte intégrée basé sur la composante variétale.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 EXPÉRIMENTATION ET COLLECTE DES DONNÉES

L'expérimentation a été réalisée pendant les campagnes agricoles 2012 et 2013 dans une localité du Département du Diamaré-Cameroun. Elle a consisté en un repiquage en Bloc Complètement Randomisé (BCR) avec trois répétitions de 10 variétés traditionnelles du sorgho *Muskuwari*. Ces variétés que sont *Mandouéri*, *Bourgouri*, *Soukatari*, *Madjéri non-crossé*, *Safra non-crossé*, *Soukéri*, *Adjagamari*, *Safra crossé*, *Tchangalari* et *Madjéri crossé* ont été retenues pour leurs dominances quasi certaines auprès des populations productrices de du Nord-Cameroun et pouvant représenter plus 90% de la production. Les lignées étaient représentées dans chaque bloc par trois rangers de 45m de long. Les blocs sont séparés les uns des autres par une allée de 2 mètres. Les plantes âgées de 40 jours, repiquées en paire dans des trous d'environ 8cm de profondeur préalablement rempli d'eau, sont séparées sur la ligne d'une distance de 90cm et d'un mètre entre les lignes. L'entretien (Coroto en *fulfuldé*) s'est fait de manière manuelle à deux semaines et à quatre semaines après le repiquage.

Pour chaque campagne, la collecte des données s'est faite trois mois après le repiquage, à la phase de la maturation ou de récolte des plantes et les degrés de sévérité d'infestation variétale sont évalués comme étant la proportion des plantes infestées par variété et par bloc. Trente (30) épis sont ensuite sélectionnés au hasard par variétés et par groupe (plantes infestées, plantes non infestées) dans chaque bloc. Les trous sur les tiges des plantes infestées débarrassées complètement des feuilles sont comptés, la longueur des galeries par plante mesurée et les juvéniles des foreurs présents collectés et identifiés au rang d'espèce. Les épis sont aussi battus individuellement et les graines sont pesées pour l'estimation des pertes en graines (PG) donnée par la formule suivante :

$$P G (\%) = \frac{\text{Récolte en } \frac{\text{kg}}{\text{ha}} \text{ des plantes non infestée} - \text{Récolte en } \frac{\text{kg}}{\text{ha}} \text{ des plantes infestées}}{\text{récolte en kg/ha des plantes non infestées}} \times 100$$

2.2 TRAITEMENT ET ANALYSE DES DONNÉES

Les données ont été saisies et classées d'abord au moyen du tableur Excel puis analysées grâce aux Logiciels XLSTAT (Version 2013.5.08). Après des transformations logarithmiques (\log_n) des données à distribution non normale, des tests d'Analyse de Variance à plusieurs facteurs (variétés, bocs et années) suivi des tests Post hoc ont été réalisés à un seuil de signification de 95%. Des comparaisons multiples des moyennes grâce au test de Turkey (HD) ont été ensuite nécessaires pour identifier des couples de valeurs qui diffèrent significativement à un seuil de signification de 95%. Une Analyse en Composante Principale (ACP) a été nécessaire pour vérifier les degrés d'interaction éventuelle entre les paramètres.

3 RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1 DEGRÉ DE SÉVÉRITÉ D'INFESTATION

Notre essai dans le Diamaré, principal bassin de production du *Muskuwari*, sur un site choisi pour sa forte pression des foreurs constatée, met en évidence la variété *Safra crossé* comme étant la plus infestée avec un degré d'infestation de 17% et 16% respectivement en 2012 et en 2013. Les variétés *Mandoueri* et *Bourgouri* ont montré des degrés d'infestation les plus bas avec respectivement 4% et 7% en 2012 et 5% pour les deux variétés en 2013. Les variétés *Madjeri-non crossé* et *Soulkeri* enregistrent un même degré d'infestation (8%) pour les deux années (figure ci-dessous).

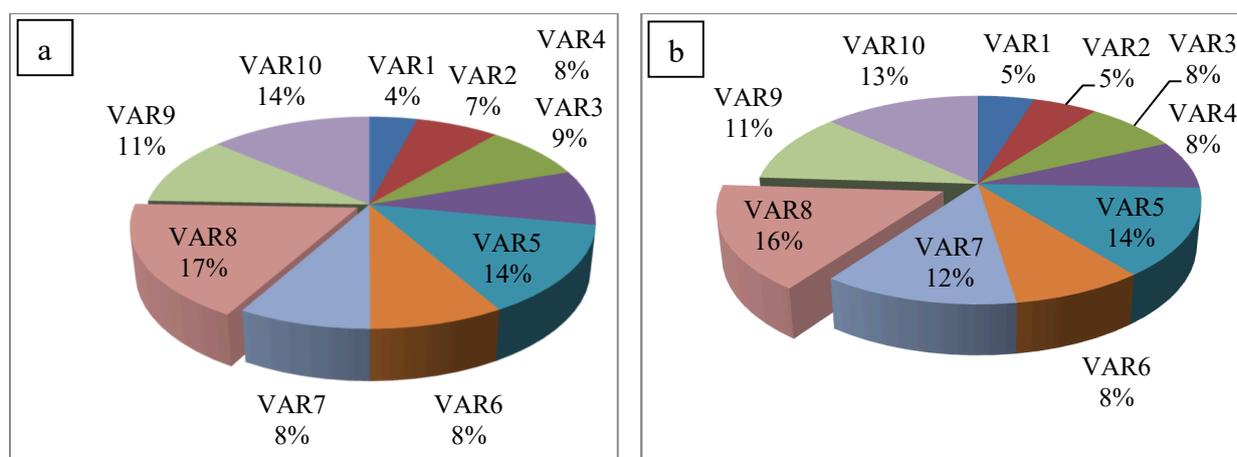


Fig. 1. Degré de sévérité d'infestation variétale des dix variétés traditionnelles de sorghos repiqués (a et b, en 2012 et 2013 respectivement). Légende : VAR1-Mandouéri ; VAR2- Bourgouri ; VAR3- Soukatari ; VAR4- Madjéri non-crossé ; VAR5- Saf40 non-crossé ; VAR6- Soulkéri ; VAR7- Adjagamari ; VAR 8- Saf40 crossé ; VAR9- Tchangalari ; VAR10- Madjéri crossé.

Dans les relations conflictuelles plantes-insectes plusieurs facteurs entrent en jeu pour une inclinaison de l'équilibre en faveur des uns ou des autres. Les facteurs chimiques tels que la présence de métabolites secondaires [9], [10] et les caractères physiques des plantes [11] [12], variables selon les variétés, entraînent une variabilité des performances selon les contextes agro-climatiques de production. Les niveaux d'infestation variétale, pourraient s'expliquer par les mauvaises pratiques culturelles, tel que la production monovariétale qui favorise l'infestation par les ravageurs. Dans un champ de cannes à sucre sous infestation naturelle par le foreur *Eldana saccharina*, Pené et collaborateurs ont mis en évidence en 2016 [13] des niveaux d'infestation variables selon les apports en azote aux huit variétés commerciales, le plus grand niveau d'infestation étant observé avec un apport élevé en azote. Le sorgho est de la même famille botanique que la canne à sucre, la teneur en minéraux du sol étant rarement homogène d'un point à l'autre et la capacité de mobilisation des minéraux aussi variable selon les génotypes en présence, il s'en suivra alors des niveaux d'infestation variables. Ces comportements variétaux traduiraient des niveaux de résistances variés des différentes variétés traditionnelles de sorgho repiqué. Cheng et collaborateurs [14] évaluant

les comportements de douze variétés de sorgho pluvial pour la résistance aux phytophages *Diatraea grandiosella* et *Spodoptera frugiperda*, ont mis en évidence une forte corrélation entre le niveau de la résistance des différentes lignées de sorgho et la teneur en sucre soluble et en dhurrin dans les feuilles. La résistance des lignées était justifiée par les proportions du dhurrin et de l'Acide Jasmonique des différentes variétés. Ainsi, des dispositions chimiques et physiques des différentes variétés auraient aussi induit des niveaux d'infestation variables. La résistance d'une plante de sorgho repiqué peut être évaluée à différents niveaux de développement et à travers plusieurs paramètres (nombre de trous sur les tiges, nombre de chenilles par plante, la longueur des galeries par plantes), une plante résistante à un stade phénologique de son développement pouvant être susceptible à un autre.

3.2 POURCENTAGE DE CŒURS-MORTS

Les larves des foreurs, après l'éclosion, s'alimentent sur les jeunes feuilles de leurs plantes hôtes entraînant parfois la destruction du bourgeon terminal connue sous le terme de cœur-mort. Ce phénomène est à l'origine d'une baisse de densité des plantes. Le tableau 1 donne les différentes valeurs moyennes.

Tableau 1. Pourcentage de Cœurs-Morts (CM) et des Pertes en Graines (PG)

Variété	% de CM 2013 /2012	% de PG 2013/2012
V1 - Mandouéri	4,58/6,21	3,49/10,94
V2 - Bourgouri	9,80/12,09	2,44/2,87
V3 - Soukatari	9,37/8,28	9,29/10,67
V4 - Madjéri non-rossé	10,68/9,80	10,23/12,29
V5 - Saf40 non-crossé	12,85/10,68	40,76/38,64
V6 - Soulkéri	10,35/10,78	18,62/23,42
V7- Adjagamari	22,33/21,02	13,16/18,53
V8- Saf40 crossé	10,24/15,90	37,89/39,06
V9- Tchangalari	13,51/14,16	7,25/0,96
V10- Madjéri rossé	17,32/17,21	10,95/18,40

Il en ressort ainsi des taux de CM et de PG variés et selon les années, toutes fois on constate que les variétés *Mandouéri* et *Bourgouri* avec des taux de CM respectifs de 4,58% et 9,37 en 2013 et de 6,61% et 8,28% en 2012, enregistrent les taux de destruction du méristème apical les plus bas; par contre la variété *Adjagamari* qui enregistre 22,33% et 21,02% respectivement en 2013 et en 2012 se singularise avec des taux les plus élevés de destruction des bourgeons apicaux. *Tchangalari*, malgré un taux moyen de destruction des méristèmes apicaux enregistre le taux le plus bas de perte en graines (0,96 en 2012 et 7,25 en 2015). Renburg et Berg en 1992[15] étudiant les types de dommages dus aux foreurs sur le sorgho après la levée ont aussi mis en évidence une variation de proportion de cœurs-morts dans le temps, selon les variétés et selon les espèces de foreurs en présence; Le *Muskuwari* commence son cycle au moment où le sorgho pluvial arrive à maturation, il assure ainsi la disponibilité d'hôte à la dernière génération de foreurs développés sur le sorgho pluvial. La production du *Muskuwari* implique une transplantation de la pépinière à la zone de production, ce qui accentuerait le développement de CM car la plante à la reprise se trouve affaiblie physiologiquement. Une forte corrélation avec le nombre total des larves par plantes a été par ailleurs démontrée. Taneja et Leuchner [16] ont aussi démontré une forte corrélation négative de ce paramètre avec le rendement et la densité des plantes par unité de surface. Pour une sélection variétale pour la résistance aux foreurs ce critère devrait principalement être mis en première ligne.

3.3 NOMBRE DE TROUS PAR PLANTE

Dans une infestation par plusieurs espèces dans les conditions naturelles, il en résulte des trous multiples sur les tiges pouvant varier d'une variété à l'autre selon le niveau de résistance de la plante. Les tableaux 2 et 3 suivants représentent respectivement les résultats d'analyse de variances des valeurs moyennes des trous par plante en station expérimentale et le résultat d'analyse Post-Hoc de ces mêmes valeurs moyennes.

Tableau 2. Analyse des variances des valeurs moyennes des trous par plante à un intervalle de confiance de 95%

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	41	10543,381	257,156	5,648	< 0,0001
Erreur	1758	80036,019	45,527		
Total corrigé	1799	90579,399			

Calculé contre le modèle $Y = \text{Moyenne}(Y)$

Tableau 3. Tableau d'analyse Post-Hoc des valeurs moyennes des nombre de trous par plante à un intervalle de confiance de 95%

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Année	1	266,805	266,805	5,860	0,016
Bloc	2	171,148	85,574	1,880	0,153
Variétés	9	7846,605	871,845	19,150	< 0,0001
Année*Bloc	2	181,303	90,652	1,991	0,137
Années*Variété	9	260,156	28,906	0,635	0,768
Bloc*Variété	18	1817,363	100,965	2,218	0,002

DDL : Degré de Liberté

Les valeurs moyennes des trous par plante présentent des variances toutes d'une différence statistiquement significative, p-value (<0,0001) étant inférieur à $\alpha = 0,05$ (voir tableau 6). Ce qui traduit une disparité dans les niveaux de résistance des différentes variétés de sorgho repiqué. Il en ressort de l'analyse Post-Hoc que seul l'effet croisé de l'année d'expérimentation et du bloc a montré de différences statistiquement significatives et à un seuil de signification de 95% (p-values = 0,002). Ces résultats mettent en exergue d'une part, les niveaux variés d'antibiose des différentes variétés et d'autre part, l'influence des facteurs climatiques sur les performances agronomiques et biologiques des plantes et ses ravageurs. Chaque espèce biologique ayant un préférendum écologique pour une expression optimum de chacun de ses traits de vie, selon les variations climatiques et les niveaux de résistance des plantes aux attaques des ravageurs, les dégâts en seront aussi conséquents. Le graphique de variations des valeurs moyennes des trous ci-dessus nous permet de singulariser les variétés *Tchangalari* et *Safra non crossé* comme les variétés ayant présenté une valeur moyenne de trous plus basse variant de 9,88 à 11,06 pendant les deux années alors que, la variété *Soukatari* est celle qui a toujours présenté une valeur moyenne la plus élevées sur les deux années (16,62 en 2013 et 17,2 en 2012). Ces valeurs sont par ailleurs très proches statistiquement de celles enregistrées sur les deux années par les variétés *Madjeri non-crossé* (10,19 en 2013 et 11,03 en 2012) et *Adagamari* (12,34 en 2013 et 12,10 en 2012).

Tableau 4. Comparaisons par paire des valeurs moyennes des nombres de trous sur les différentes variétés.

variété	Année 2013		Année 2012	
	Variance (n)	Moyenne \pm écart-type (n)	Variance (n)	Moyenne \pm écart-type (n)
<i>Tchangalari</i>	18,754	9,156 \pm 4,331 ^a	14,119	11,056 \pm 3,758 ^a
<i>Saf40 non-crossé</i>	20,263	9,878 \pm 4,501 ^{ab}	26,211	11,011 \pm 5,120 ^a
<i>Madjeri non-crossé</i>	25,487	10,189 \pm 5,048 ^{ab}	34,899	11,033 \pm 5,908 ^a
<i>Madjeri crossé</i>	41,628	11,489 \pm 6,452 ^{ab}	52,687	12,589 \pm 7,259 ^a
<i>Adagamari</i>	33,470	12,344 ^a \pm 5,785 ^{abc}	33,090	12,100 \pm 5,752 ^a
<i>Bourgouri</i>	23,825	12,444 ^a \pm 4,881 ^{abc}	26,279	13,744 \pm 5,126 ^{ab}
<i>Mandouéri</i>	40,428	12,500 ^a \pm 6,358 ^{abc}	45,672	13,478 \pm 6,758 ^{ab}
<i>Soukéri</i>	235,854	13,300 \pm 15,358 ^{bcd}	32,146	12,378 \pm 5,670 ^a
<i>Saf40 crossé</i>	51,952	15,122 \pm 7,208 ^{cd}	56,196	16,067 \pm 7,496 ^{bc}
<i>Soukatari</i>	49,324	16,622 \pm 7,023 ^d	51,117	17,289 \pm 7,150 ^c

NB : dans une colonne, les nombres présentant en exposant les mêmes lettres ne sont pas significativement différents statistiquement dans un intervalle de confiance des 95%.

La comparaison deux à deux des valeurs moyennes des trous enregistrés en 2013 et en 2012 pour les différentes variétés traditionnelles de sorgho repiqué, grâce au test de Tukey (HSD) et à un degré de confiance de 95% (tableau 4) nous permet de répartir les dix variétés traditionnelles en trois groupes dont les différences des valeurs moyennes des modalités sont statistiquement non significatives au sein d'un même groupe. Il s'agit des groupes constitués par les variétés *Tchangalari*, *Safra non-crossé*, *Madjéri non-crossé* et *Madjéri crossé* (moyennes comprise entre 9,156 et 11,489) pour le premier ; du groupe constitué des variétés *Adjagamari*, *Bourgouri* et *Mandouéri* (valeurs moyennes comprise entre 12,344 et 12,500) pour le deuxième et du groupe constitué des variétés *Soukéri*, *Safra crossé* et *Soukatari* (moyennes comprise entre 13,300 et 16,622) pour le troisième en 2013. Les valeurs moyennes des variétés du troisième groupe sont toutes significativement différentes de celles des variétés du deuxième groupe sauf pour la variété *Soukéri*. Les valeurs moyennes enregistrées en 2012 pour ce paramètre nous permettent également à la suite de cette comparaison de distinguer trois groupes : le premier constitué des variétés *Tchangalari*, *Madjéri crossé*, *Adjagamari*, *Soukéri*, *Safra non-crossé* et *Madjéri non-crossé* avec des valeurs moyennes comprise entre 11,011 et 12,59 ; le deuxième constitué des variétés *Mandouéri* et *Bourgouri* avec de valeurs moyennes respectives de 13,478 et de 13,744 ; le troisième groupe constitué des variétés *Soukatari* et *Safra crossé* avec des valeurs moyennes respectives de 17,289 et de 16,067 ; les valeurs moyennes des variétés du troisième groupe étant toutes d'une différence statistiquement significative de celles des variétés du deuxième groupe.

Il ressort aussi de ce tableau d'analyse des variations des valeurs moyennes des trous pour les différentes variétés traditionnelles que, les variétés *Tchangalari*, *Safra non-crossé* et *Madjéri non-crossé* ayant présenté des degrés moyens d'infestation et des nombres moyens de trous les plus bas, aux différences statistiquement non significatives, pourraient avoir des dispositions d'une défense mécanique pouvant réduire la pénétration des larves des foreurs dans les tiges. Selon Bessin et collaborateurs [17] et Van den Berg [18], plus le nombre de trous est bas, témoin de l'aptitude des foreurs à achever leur cycle, plus faible sera le « *moth production index* » ; ce qui contribue pour beaucoup dans la réduction des niveaux de dégâts. Ce constat témoigne du niveau d'antibiose varié des différentes variétés et appelle à la compréhension des rôles des constituants chimiques de la plantes dans la résistance mécanique des plantes du sorgho repiqué. Plusieurs travaux antérieurs ont mis en évidence le rôle de la Silice dans les mécanismes de défense de la plante ; la Silice agirait directement ou indirectement pour réduire les dommages dus aux insectes ([19], [20], [21], [22], [23], [24]). Dans le contexte socioéconomique de la Région de l'extrême-Nord où la demande en fourrages est élevée, ce paramètre permet un choix judicieux de la variété ou des variétés de sorgho repiqué pour un usage des produits secondaires comme fourrage.

3.4 NOMBRE DE CHENILLES PAR PLANTE ET PAR VARIÉTÉS DE SORGHO

Les travaux antérieurs ([6], [25], [26]) ont mis en évidence la prédominance de *Sesamia cretica* (Lederer) (Lederer) coexistant avec les espèces *Sesamia calamistis* et *Sesamia poaphaga* sur le sorgho repiqué dans la zone soudano-sahélienne en général et dans l'Extrême-nord en particulier. Dans notre expérimentation pour la résistance variétale du sorgho repiqué, seul les nombres de chenilles de *Sesamia cretica* (Lederer) prise isolément et le nombre total de chenilles (toutes espèces confondues) enregistré par variété et par année ont été soumis à l'analyse, *Sesamia calamistis* (moyenne = 0,07 et moyenne = 0,05 respectivement en 2012 et en 2013) et *Sesamia poaphaga* (moyenne = 0,11 en 2012 et en 2013) pourtant signalées, avec des nombres moyens annuels presque tous inférieurs à la dixième, n'ont pas été prises en compte.

Tableau 5. Analyse de variance des valeurs moyennes des chenilles de l'espèce *Sesamia cretica* (Lederer) à un seuil de signification de 5%.

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	41	918,371	22,399	6,868	< 0,0001
Erreur	1758	5733,762	3,262		
Total corrigé	1799	6652,133			

Calculé contre le modèle $Y = \text{Moyenne}(Y)$

Tableau 6. Analyse de variance des valeurs moyennes des chenilles de (toutes les espèces confondues) à un seuil de signification de 5%.

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	41	984,128	24,003	6,546	< 0,0001
Erreur	1753	6427,547	3,667		
Total corrigé	1794	7411,675			

L'analyse des variances de ces deux paramètres démontrent des différences toutes statistiquement significatives au seuil de signification de 5% ; les p-values (< 0,0001) étant tous inférieurs à $\alpha = 0,05$ (voir tableaux 5 et 6). Ce qui traduirait une disparité dans les niveaux de résistance des différentes variétés de sorgho repiqué. L'analyse Post-Hoc met en évidence des différences toutes statistiquement significatives au seuil de signification α (p-values < $\alpha = 0,05$) que soit pour le nombre de chenilles de l'espèce *S. cretica* (Lederer) (tableau 7) ou pour les nombres totaux des chenilles (tableau 8).

Tableau 7. Tableau d'analyse Post-Hoc pour l'effet croisé de la variété, de l'année et de l'effet bloc sur le nombre de chenilles de *S. cretica* (Lederer) au seuil de signification de 5%.

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Année	1	97,534	97,534	29,904	< 0,0001
Bloc	2	43,471	21,736	6,664	0,001
Variété	9	548,227	60,914	18,677	< 0,0001
Année*Bloc	2	40,938	20,469	6,276	0,002
Année*Variété	9	74,716	8,302	2,545	0,007
Bloc*Variété	18	113,484	6,305	1,933	0,011

DDL= Degré de Liberté

Tableau 8. Tableau Post-Hoc pour l'effet croisé de la variété, de l'année et de l'effet bloc sur les nombres totaux de chenilles au seuil de signification de 5%.

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Année	1	105,439	105,439	28,757	< 0,0001
Bloc	2	59,453	29,727	8,107	0,000
Variété	9	581,388	64,599	17,618	< 0,0001
Année*Bloc	2	41,070	20,535	5,601	0,004
Année*Variété	9	77,625	8,625	2,352	0,012
Bloc*Variété	18	119,153	6,620	1,805	0,020

DDL = Degré de Liberté

Le développement des populations des chenilles sur les différentes variétés traditionnelles de sorgho repiqué est tributaire des effets croisés des facteurs climatiques et de la résistance variétale elle-même tributaire des prédispositions génétiques ; à ces facteurs s'ajoutent donc les mécanismes de contournement de la défense des plantes développés par les ravageurs dans cette relation coévolutive et conflictuelle. Il s'en suit alors des niveaux de populations des chenilles pouvant varier selon les niveaux de défense variétale du sorgho repiqué et des conditions du milieu.

Par ailleurs, la variété *Madjéri non-crossé* abrite toujours le plus grand nombre de chenilles. Les valeurs moyennes des chenilles de l'espèce *S. cretica* (Lederer) enregistrées par plante de cette variété étaient de 1,92 et de 2,89 respectivement en 2013 et en 2012 ; celles de toutes les chenilles de foreurs par plante de cette variété étaient de 2,044 et de 3,044 respectivement en 2013 et 2012. Par contre les variétés *Madjéri crossé* et *Bourgouri* sont celles qui abritent toujours le plus petit nombre de chenilles par plante que se soit pour les chenilles de *S. cretica* (Lederer) ou de toutes les chenilles de foreurs des tiges. Ces valeurs (moyennes de chenilles des foreurs et de l'espèce *S. cretica* (Lederer), toujours minimales sont proches de celles enregistrées les variétés *Soukatari* et *Safra non-crossé*. Il en ressort également que la variété *Soukatari*, ayant présenté un nombre moyen de trous élevé, statistiquement différent des valeurs moyennes enregistrées par les autres variétés en 2013 et en 2012, présente des nombres moyens des chenilles des foreurs et de celles de l'espèce *S. cretica* (Lederer) presque constant et toujours statistiquement non différents des valeurs moyennes les plus basses, présageant l'existence d'une défense chimique des ces variétés *Bourgouri*, *Soukatari* et *Safra non-crossé* à l'origine d'une mortalité élevée des larves ayant réussi la pénétration des tiges. Une comparaison deux à deux des moyennes du nombre de chenilles de l'espèce *Sesamia cretica* (Lederer) ou de toutes les chenilles des foreurs enregistré en 2013 et en 2012, grâce au test de Tukey (HSD) à un intervalle de confiance de 95%, nous permet distinguer les couples de valeurs ou des groupes de valeurs moyennes statistiquement non significativement différentes (voir Tableau 9 et 10).

Tableau 9. Tableau de comparaisons des valeurs moyennes de chenilles de *Sesamia cretica* Lederer sur les différentes variétés de sorgho repiqué.

Variété	2013		2012	
	Variance (n=90)	Moyenne ± écart-type n=90)	Variance (n=90)	Moyenne ± écart-type (n=90)
<i>Bourgouri</i>	1,228	0,711±1,108 ^a	2,237	1,089±1,496 ^{ab}
<i>Madjéri crossé</i>	1,201	0,767±1,096 ^{ab}	1,099	0,700±1,048 ^a
<i>Saf40 non-crossé</i>	2,217	0,778±1,489 ^{ab}	4,041	1,122±2,010 ^{abc}
<i>Soukatari</i>	1,835	0,856±1,355 ^{ab}	2,432	0,889±1,560 ^{ab}
<i>Mandouéri</i>	2,731	1,189±1,653 ^{abc}	2,512	1,233±1,585 ^{abc}
<i>Soukéri</i>	2,517	1,289±1,586 ^{abc}	4,200	2,578±2,049 ^{de}
<i>Tchangalari</i>	3,454	1,300±1,859 ^{abc}	5,029	1,756±2,243 ^{bcd}
<i>Adjagamari</i>	3,693	1,533±1,922 ^{bc}	4,054	2,033±2,014 ^{cde}
<i>Saf40 crossé</i>	4,533	1,667±2,129 ^c	6,591	2,378±2,567 ^{de}
<i>Madjéri non-crossé</i>	4,516	1,922±2,125 ^c	5,788	2,889±2,406 ^e

NB : dans une colonne, les nombres présentant en exposant les mêmes lettres ne sont pas significativement différents statistiquement dans un intervalle de confiance des 95%.

Tableau 10. Tableau de comparaisons deux par deux des valeurs moyennes de nombre chenilles enregistrés en 2013 et en 2012 (toutes les espèces) sur les différentes variétés traditionnelles de sorgho repiqué

Variété	Année 2013		Année 2012	
	Variance (n=90)	Moyenne ± Ecart-type n=90)	Variance (n=90)	Moyenne ± Ecart-type
<i>Mandouéri</i>	3,191	1,378±1,786 ^{abc}	3,091	1,444±1,758 ^a
<i>Madjéri crossé</i>	1,351	0,933±1,162 ^a	1,361	0,833±1,167 ^a
<i>Bourgouri</i>	1,293	0,800±1,137 ^a	2,391	1,178±1,546 ^a
<i>Soukatari</i>	2,254	1,033±1,501 ^{ab}	2,956	1,094±1,719 ^a
<i>Madjéri non-</i>	4,665	2,044±2,160 ^c	6,087	3,044±2,467 ^e
<i>Saf40 non-crossé</i>	2,475	0,944±1,573 ^{ab}	4,312	1,278±2,076 ^a
<i>Soukéri</i>	2,668	1,433±1,633 ^{abc}	4,451	2,756±2,110 ^d
<i>Adjagamari</i>	4,595	1,778±2,144 ^{bc}	4,790	2,256±2,189 ^c
<i>Saf40 crossé</i>	5,176	1,956±2,275 ^c	6,940	2,644±2,634 ^d
<i>Tchangalari</i>	4,032	1,367±2,008 ^{abc}	5,919	1,944±2,433 ^b

NB : dans une colonne, les nombres présentant les mêmes lettres ne sont pas significativement différents dans un intervalle de confiance des 95%.

Par contre la variété *Safra crossé*, avec un degré d'infestation élevé, un nombre moyen de trous élevé et un nombre moyen de chenilles aussi important se décline comme étant une variété susceptible aux attaques des Lépidoptères foreurs de tiges. [27] Perrot *et al.* (2002) ont aussi trouvé cette variété traditionnelle très sensible aux attaques des foreurs des tiges quoique appréciée par les paysans.

Les tableaux ci-dessus nous laissent voir que les variétés traditionnelles de sorgho repiqué peuvent être groupées en quatre catégories selon leur performance agronomique (capacité à influencer le développement de larves des foreurs de tige) : la première catégorie comporte les variétés *Madjéri crossé*, *Soukatari*, *Mandouéri*, *Safra non-crossé* et la variété *Mandouéri*. La deuxième comporte les variétés *Mandouéri* et la variété *Tchangalari*. La troisième comporte les variétés *Adjagamari*, *Soukéri* et *Safra crossé*. La quatrième comprend les variétés *Safra crossé* et la variété *Madjéri non-crossé*. Ces groupes de variétés aux valeurs moyennes de chenilles toutes proches présenteraient donc presque les mêmes niveaux de résistance ayant des effets négatifs sur le développement des larves des foreurs.

3.5 LONGUEUR DE GALERIE PAR PLANTE

Les chenilles après avoir pénétré la tige, s'y alimentent en réalisant des galeries qu'elles remplissent de leurs déjections. Ces galeries entravent la bonne distribution des sèves à l'origine des baisses des rendements. Ce paramètre d'infestation, négativement corrélé ($r = 0,062$ et $0,034$ respectivement pour *S. cretica* et Chenille totale) au rendement grainier de plantes sous infestation et qui traduit le niveau des résistances et/ou de tolérance des plantes présenterait des valeurs moyennes variables selon les variétés.

Les résultats nous donnent de constater que les variétés *Bourgouri*, *Soukatari* et *Tchangalari*, ayant pourtant enregistré des valeurs moyennes des foreurs statistiquement non différentes que se soit en 2013 ou en 2012 et toujours plus bas, présentent des longueurs moyennes de galeries par plante les plus élevées pour les mêmes années, alors que la variété 4 ayant présenté un nombre de chenilles par plante toujours élevé présente des longueurs moyennes de galeries par plante les plus basses. Ces résultats pourraient traduire une interaction interspécifique et/ou intraspécifique type compétition au sein des populations des foreurs infestant le sorgho repiqué et qui serait à l'origine des variations des modalités des différents paramètres d'infestation telle que la longueur des galeries.

Une analyse de variance des valeurs moyennes des longueurs de galeries et une analyse post hoc sont présentées dans les tableaux 11 et 12 ci-dessous.

Tableau 11. Tableau d'analyse des variances des valeurs moyennes des longueurs de galeries par plante à un seuil de signification de 5%.

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	41	159606,975	3892,853	11,033	< 0,0001
Erreur	1758	620313,746	352,852		
Total Corrigé	1799	779920,721			

Calculé contre le modèle $Y = \text{Moyenne}(Y)$; DL = Degré de liberté

Tableau 12. Tableau d'analyse Post-Hoc des valeurs moyennes des longueurs des galeries par plante pour les effets croisés des différents facteurs à un seuil de signification de 5%.

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Année	1	1485,307	1485,307	4,209	0,040
Bloc	2	281,001	140,501	0,398	0,672
Variété	9	120482,774	13386,975	37,939	< 0,0001
Année*Bloc	2	289,171	144,585	0,410	0,664
Année*Variété	9	3938,628	437,625	1,240	0,266
Bloc*Variété	18	33130,094	1840,561	5,216	< 0,0001

DDL= Degré de liberté.

Il en ressort que, les effets croisés deux à deux des trois facteurs, bloc, année et variété, n'ont montré aucune différence significative pour l'effet croisé Année*Bloc et l'effet croisé Année*Variété, les p-values (0,672 et 0,664 respectivement) étant tous supérieures à $\alpha = 0,05$. Par contre, l'effet croisé Bloc*Variété met en lumière une différence significative statistiquement, p-value ($< 0,0001$) étant inférieure à $\alpha = 0,05$. Ces résultats confirment l'existence des variations dans les réactions de défense de chaque variété de plante de sorgho repiqué selon les conditions agroclimatiques qui prévalent. La comparaison deux à deux des valeurs moyennes de ce paramètre pour les différentes variétés est donnée dans le tableau suivant (tableau 13).

Tableau 13. Tableau de comparaisons par paires des valeurs moyennes de la longueur des galeries des dix variétés enregistrées en 2013 et en 2012.

Variété	Année 2013		Année 2012	
	Variance (n=90)	Moyenne ± Ecart-type n=90	Variance (n=90)	Moyenne ± Ecart-type (n=90)
<i>Mandouéri</i>	90,251	15,439±9,500 ^{abc}	92,269	16,289±9,606 ^a
<i>Madjéri crossé</i>	289,724	28,616±17,021 ^{ab}	316,005	30,210±17,777 ^{bc}
<i>Bourgouri</i>	414,682	38,422±20,364 ^a	488,002	40,466±22,091 ^{de}
<i>Soukatari</i>	671,718	38,891±25,918 ^{ab}	671,646	43,303±25,916 ^c
<i>Madjéri non-crossé</i>	310,117	22,107±17,610 ^c	347,394	22,919±18,639 ^{ab}
<i>Saf40 non-crossé</i>	380,423	28,138±19,504 ^{ab}	454,591	29,958±21,321 ^{bc}
<i>Soulkéri</i>	120,887	19,807±10,995 ^{abc}	262,630	20,081±16,206 ^a
<i>Adjagamari</i>	234,536	25,416±15,315 ^{bc}	279,915	24,142±16,731 ^{abc}
<i>Saf40 crossé</i>	575,930	34,450±23,999 ^c	565,502	32,844±23,780 ^{cd}
<i>Tchangalari</i>	397,348	33,269±19,934 ^{abc}	303,254	42,509±17,414 ^e

Il en ressort que les variétés *Soukatari*, *Bourgouri*, *Safra non-crossé* et *Madjéri crossé* présentent en 2013 des valeurs moyennes toutes statistiquement non différentes à un degré de confiance de 95%. Ce premier groupe constitué de ces quatre variétés ci-dessus présente par ailleurs des valeurs moyennes toutes statistiquement d'une différence significative au même degré de confiance avec les valeurs moyennes enregistrées au cours de la même année par les variétés *Mandouéri*, *Soulkéri* et *Tchangalari* constituant un deuxième groupe au sein duquel les valeurs moyennes sont toutes statistiquement non significatives. Le troisième groupe constitué des variétés *Adjagamari*, *Madjéri non-crossé* et *Safra crossé* présente également des valeurs moyennes enregistrées en 2013 toutes statistiquement non significativement différentes dans un intervalle de confiance de 95%. On constate par contre que certaines variétés de ce groupe présentent des valeurs moyennes statistiquement non significativement différentes des valeurs moyennes enregistrées en 2013 par certaines variétés des deux premiers groupes. Il s'agit de la variété *Adjagamari* dont la valeur moyenne de la longueur des galeries est statistiquement non significativement différente de celles enregistrées par les variétés *Safra non-crossé* et *Madjéri crossé* du premier groupe et de celle des variétés *Mandouéri* et *Soulkéri* du deuxième groupe.

Les valeurs moyennes des longueurs de galeries enregistrées par les différentes variétés en 2012 nous permettent également de constituer des groupes de variétés *Mandouéri*, *Soulkéri*, *Madjéri non-crossé* et *Adjagamari* pour le premier, de *Bourgouri*, *Soukatari* et *Tchangalari* pour le second avec des valeurs moyennes plus élevées. Le troisième groupe comprend les variétés *Safra non-crossé*, *Safra crossé* et *Madjéri crossé*. La variété *Soukatari*, qui avait déjà présenté un nombre moyen de trous élevé et un nombre moyen de chenilles statistiquement d'une différence non significative avec la plus petite valeur moyenne, présente des longueurs moyennes des galeries toujours plus élevées et ne présentant aucune différence statistiquement significative entre les années.

Par ailleurs la variété *Mandouéri* est celle qui présente des longueurs moyennes de galerie les plus petites et toujours statistiquement proches sur les deux années mais différant significativement des valeurs moyennes enregistrées par les autres variétés. *Mandouéri* présenterait donc des mécanismes de défense type antibiose qui influencerait le ravageur tant dans son développement que dans sa prise d'aliment. Ces groupes de variétés traditionnelles de sorgho repiqué présenteraient donc le même niveau d'antibiose qui agirait sur le comportement trophique des chenilles, ce qui se traduit par les longueurs des galeries témoins de la voracité des chenilles ayant réussi la pénétration des tiges. Sur les graminées cultivées, la teneur en azote de la plante semble être d'une importance particulière dans l'interaction plantes-foreurs de tiges avec en générale une tendance à une croissance des niveaux d'infestations consécutive à l'augmentation de la teneur en azote dans la plante [28]. La capacité de la plante à mobiliser l'azote du sol étant un caractère variétal, il s'en suivra des niveaux d'infestation variable selon les variétés. De plus, le choix des sites de ponte des foreurs est conditionné par certains paramètres agro morphologiques des plantes.

La sélection variétale du sorgho (pluvial) pour la résistance aux foreurs de tiges (*Chilo partellus* par exemple) est basée sur plusieurs paramètres d'infestation tels que l'ampleur des dégâts sur les feuilles, le nombre des cœurs morts, les trous sur les tiges, la longueur des galeries et la tolérance de la plante qui se traduit par sa capacité à produire des talles secondaires après la destruction du méristème principal [29]. Sur la base des paramètres de sélection retenus ci-dessus, la variété traditionnelle *Mandouéri* caractérisée par de rendements moyens, des graines de couleur orange-clair, une panicule droite et lâche, très

appréciées dans la Région pour réalisation des bouillies et la variété *Soukatari* caractérisée par des rendements élevés, des graines de couleur orange, une panicule crossée et très compacte mais d'une qualité gustative médiocre [30] s'avèrent plus résistantes aux foreurs des tiges comparées aux autres variétés évaluées dans les mêmes conditions. Elles ont aussi présenté des faibles pourcentages de pertes en graines (tableau 1). Ces variétés jadis repiquées sur des petites superficies pour des besoins précis pourraient connaître un essor en raison des contraintes à l'origine des baisses de productions des variétés traditionnelles très appréciées telle que la variété *Safra* avec toujours un pourcentage plus élevé de perte en graines (tableau 1) et ayant représenté environ 85% des surfaces repiquées dans le Nord-Cameroun en 2002 [31]. Ce pendant, il est difficile de procéder à la sélection sur la base d'un seul indice ou d'un seul paramètre, une variété résistante à une forme de dommage pouvant être susceptible à une autre forme de dommage ([32], [33]). Pour être efficace, une sélection variétale pour la résistance aux foreurs devrait être faite sur la base de plusieurs critères en tenant compte de besoins.

4 CONCLUSION

Ce travail met en exergue l'existence de variétés traditionnelles de *Muskuwari* tolérantes ou résistantes aux foreurs de tiges dans le Nord-Cameroun. Il permet en outre de relever le rôle des Lépidoptères foreurs des tiges (tel que *Sesamia cretica* Lederer sur le sorgho repiqué) qui s'ajoute aux contingences socioculturelles locales pour entraîner des dérives variétales par suite d'abandons des variétés plus sensibles ou d'une qualité alimentaire médiocre. Il donne en outre plus d'outils aux personnes en charge des politiques agricoles et les techniciens de la filière semence pour réduction des pertes dues aux foreurs de tiges.

REFERENCES

- [1] FAO, Word food and agriculture, statistical pocketbook, *Food and Agriculture Organization of the United Nations*, Rome, 2018.
- [2] G. Li, W. Gu, Sweet Sorghum, *Chinese Agriculture Technology and Sciences Publishing House, Beijing*, 2004.
- [3] G.S. Liu, Q.Y. Zhou, S.Q. Song, H.C. Jing, W.B. Gu, X.F. Li, M. Su, Research advances into germplasm resources and molecular biology of the energy plant sweet sorghum, *Chinese Bulletin Botany*, vol.44, pp.253–261, 2009.
- [4] C. Guo, W. Cui, X. Feng, J. Zhao and G. Lu, Sorghm Insect Problems and Management, *Journal of Integrative Plant Biology*, vol 3, n°53, pp.178-192, 2011.
- [5] L.Gerke Villi, L.G. Zeferino and A. Feiden, The use of Sweet sorghum as a feedstock for ethanol production, *American Journal of Plant Science*, n°5, PP.3340-3344, 2014.
- [6] J. Djodda, E. Nchiwan Nukenine and P. Ngassam, Degree of infestation of transplanted sorghum *Sorghum bicolor* L (Moench) by Lepidopteran stem borers and their biodiversity in Diamaré (Maroua-Cameroun), *American Open Journal of Agricultural Research* vol.1,n°1, pp.1-7, 2013.
- [7] Mohamed Nader Said Sallam, A review of sugarcane stems borers and their natural enemies in Asia and Indian Ocean Islands: an Australian perspective, *Annales de la Société Entomologique de France*, vol.42, n°3-4, pp.263-283, 2006.
- [8] A. Chabi-Olaye, C. Nolte, F. Schulthess and C. Borgemeister, Effects of grain legumes and cover crops on maize yield and plant damage by *Busseola fusca* (Fuller) (Lepidoptera: Noctuidae) in the humid forest of southern Cameroon, *Agriculture, Ecosystem and Environment*, vol.108, n°17-28, 2005a.
- [9] L.E.M. Vet and M. Dicke, Ecology of infochemical use by naturel enemis in a trophic context, *Annual review of Entomology*, vol.37, pp.141-172, 1992.
- [10] J.C. Harborne, Phytochemical methods. *A guide to modern techniques of plant analysis, 3th edition*, U.K., p302, 1998.
- [11] J.R. Mangold, Attraction of *Euphasiopteryx ochracea*, *Corethrella* sp and gryllids to broadcast songs of the southern male cricket. *Florida Entomol.*, vol. 61, pp.57-61, 1978.
- [12] M. Berenbaum, Phytotoxicity of plant secondary metabolites. Insect and mammalian Perspectives, *Archives of Insect Biochemistry and physiology*, vol.29, n°2, pp.119-134, 1995.
- [13] B. C. Pene, K. D. Kouamé, Dove Harold et B. M. Boua, Incidence des infestations du foreur de tige *Eldana saccharina* (Lepidoptera, Pyralidae) en culture irriguée de canne à sucre selon les variétés et la période de récolte en Côte d'Ivoire, *Journal of Applied Biosciences* vol.102, pp.9687-9698, 2016.
- [14] W. Cheng, J. Lei, W.L. Rooney, T. Liu and K. Zhu-Saltzman, 2013. High basal defense gene expression determines sorghum resistance to the whorl-feeding insect southwestern corn borer. *Insect Science*, vol.20 pp.307-317, 2013.
- [15] B.J. Rensbeurg and J-J.V. den Berg, Stem borers in grain sorghum: I. injury patterns with time after crop emergence, *South African Journal of plant and Soil*, vol.9, n°2, pp.73-78, 1992.
- [16] S.L.Taneja and K. Leuschner, *Methods of rearing, infestation and evaluation for Chilo partellus resistance in sorghum* In: *proceeding of international sorghum entomology workshop*, Patancheru, india, pp.175-188, 1985.

- [17] B.T. Bessin, T.E. Reagan and F.A. Martin, A moth production index for evaluating sugarcane cultivars for resistance to the sugarcane borer (Lepidoptera: Pyralidae), *Journal of Economic Entomology*, vol.83, pp.221-225, 1990.
- [18] J. Van den Berg, Use of moth production index to assess the impact of sorghum varieties in management of *Chilo partellus* in Southern Africa, *Insect Science and its Application*, vol.17, pp.151-155, 1997.
- [19] J.C. Moraes, M.M. Goussain, M.A.B. Basagli, G.A. Carvalho, C.C. Ecole and M.V. Sampaio, Silicon influence on the tritrophic interaction: Wheat plants, the greenbug *Schizaphis graminum* (Rondani) (Hemiptera: Aphididae), and its natural enemies, *Chrysoperla externa* (Hagen) (Neuroptera: Chrysopidae) and *Aphidius colemani* Viereck (Hymenoptera: Aphidiidae). *Neotropical Entomology*, vol.33, pp.619-624, 2004.
- [20] J.C. Moraes, M.M. Goussain, G.A. Carvalho and R.R. Costa, Feeding non-preference of the corn leaf aphid *Rhopalosiphum maidis* (Fitch, 1856) (Hemiptera: Aphididae) to corn plants (*Zea mays* L.) treated with silicon, *Cienciae Agrotecnologia*, vol.29, pp.761-766, 2005.
- [21] Kvedaras O.L., Keeping M.G., Goebel F.R. and Byrne M.J. *Water stress augments silicon-mediated resistance of susceptible sugarcane cultivars to the stalk borer Eldana saccharina* (Lepidoptera: Pyralidae), *Bulletin of Entomological Research*, 97,175-183, (2007a).
- [22] O.L. Kvedaras, M.G. Keeping, F.R. Goebel and M.J. Byrne, Larval performance of the pyralid borer *Eldana saccharina* Walker and stalk damage in sugarcane: influence of plant silicon, cultivar and feeding site, *International Journal of Pest Management*, vol.53, pp.183-194, 2007b.
- [23] O.L. Kvedaras, M. An, Y.S. Choi and G.M. Gurr, Silicon enhances natural enemy attraction and biological control through induced plant defences, *Bulletin of Entomological Research*, 2009a, DOI:10.1017/S0007485309990265.
- [24] O.L. Kvedaras and M.G. Keeping, Silicon impedes stalk penetration by the borer *Eldana saccharina* in sugarcane, *Entomologia Experimentalis et Applicata*, vol.125, pp.103-110, 2007.
- [25] Ngatanko Iliassa, S. L. NgamoTinkeu, P. M. Mapongmestsem, Diversity and spatial distribution of stem borers and their natural enemies on off season sorghum, *Sorghum bicolor* (L.) Moench (Poaceae), in the Sudano-sahelian zone of Cameroon, *International Journal of Agronomy and Agricultural Research (IJAAR)*, Vol. 7, No. 5, pp. 51-58, 2015.
- [26] K. Djimadoumngar, Inventaire et cycles biologiques des Lépidoptères foreurs des tiges du sorgho et de leurs principaux parasitoïdes dans la région de N'Djamena (Tchad), Thèse de Doctorat, Lyon, pp.194, 2001.
- [27] P.R. Atkinson and K.J. Nuss, Associations between host-plant nitrogen and infestations of the sugarcane borer, *Eldana saccharina* Walker (Lepidoptera: Pyralidae), *Bulletin of entomological Research*, vol.79, pp.489-506, 1989.
- [28] B.U. Singh and K.V. Rao and H. C. Sharma, Comparison of selection indices to identify sorghum genotypes resistant to the spotted stemborer, *Chilo partellus* (Swinhoe) (Lepidoptera: Noctuidae), *International Journal of Tropical Insect Science*, vol.31, n°1-2, pp.38-51, 2011.
- [29] N. Perrot, S. Gonne et B. Mathieu, Biodiversité et usages alimentaires des sorghos Muskuwari au Nord-Cameroun In: C. Raimond, E. Garine and O. Langlois (éds), *Ressources vivrières et choix alimentaires dans le bassin du lac Tchad*, RODIG, IRD, Paris, pp.243-262, 2005.
- [30] B. Mathieu, E. Fotsing and D. Gautier, L'extension récente du *Muskuwari* au Nord-Cameroun : dynamique endogène et nouveaux besoins de recherche. 2003, Cirad-Prasac pp.12, 2003.
- [31] S.O. Ajala, A. Odulaja and K.N. Saxena, beneficial african insects: A Renewable Natural Resource, *Proceedings of the 10th Meeting and Scientific Conference of the African Association of Insect Scientists*, Mombasa, Kenya, pp.71-74, 1993.
- [32] A.M. Alghali, Effect of time of *Chilo partellus* Swinhoe (Lepidoptera: Pyralidae) infestation on yield loss and compensatory ability in sorghum cultivars, *Tropical Agriculture* (Trinidad), vol.64, pp.144-148, 1987.