

**AFPP – 11^e CONFÉRENCE INTERNATIONALE
SUR LES RAVAGEURS ET AUXILIAIRES EN AGRICULTURE
MONTPELLIER – 25 ET 26 OCTOBRE 2017**

**REGULATION NATURELLE DES POPULATIONS DE LA MINEUSE DE LA CHANDELLE DE MIL,
HELIOCHEILUS ALBIPUNCTELLA (LEPIDOPTERA, NOCTUIDAE), AU SENEGAL**

A. SOW^(1,3), T. BREVAULT^(2,3), G. DELVARE⁽⁴⁾, J. HARAN⁽⁴⁾ et M. SEMBENE^(1,3)

⁽¹⁾ UCAD-FST, Département Biologie Animale, Dakar, SENEGAL, mbacke.sembene@ucad.edu.sn

⁽²⁾ CIRAD, UPR AIDA, Montpellier, FRANCE, thierry.brevault@cirad.fr

⁽³⁾ BIOPASS, CIRAD-IRD-ISRA-UCAD, Dakar, SENEGAL

⁽⁴⁾ CIRAD, UMR CBGP, Montpellier, FRANCE, julien.haran@cirad.fr

RÉSUMÉ

Le mil est l'une des céréales les plus cultivées en Afrique sub-saharienne, contribuant significativement à la réduction du risque d'insécurité alimentaire dans les zones les plus arides. Pourtant, la mineuse de la chandelle, *Heliocheilus albipunctella* de Joannis (Lepidoptera, Noctuidae), représente une contrainte majeure à l'intensification de sa production.

Un réseau de parcelles a été suivi en 2015 et 2016 dans les régions de Bambey et Nioro du Rip au Sénégal, pour évaluer l'incidence de la mineuse et la régulation de ses populations par les ennemis naturels. L'incidence de la mineuse est élevée dans les deux territoires explorés, avec en moyenne 79% d'épis infestés. Cependant, une importante régulation des populations d'œufs et de larves par les ennemis naturels (68%), permet de limiter les pertes de rendement en grain (1 à 20%). Des outils moléculaires de séquençage à haut débit (Next Generation Sequencing) combinés à une identification morphologique ont été utilisés pour construire une librairie de référence de l'entomofaune associée au mil. La connaissance de la structure des réseaux trophiques associés à la mineuse de la chandelle de mil doit permettre de mieux définir les modalités de pilotage des processus écologiques de régulation de ses populations, dans une perspective d'intensification de la lutte biologique par conservation.

Mots-clés : ravageurs des cultures, lutte biologique par conservation, biodiversité fonctionnelle, ennemis naturels, Afrique.

ABSTRACT

NATURAL REGULATION OF FIELD POPULATIONS OF THE MILLET HEAD MINER, *HELIOCHEILUS ALBIPUNCTELLA* (LEPIDOPTERA, NOCTUIDAE), IN SENEGAL

Millet is one of the most cultivated cereals in sub-Saharan Africa, contributing to the reduction of the risk of food insecurity in the most arid areas. However, the millet head miner, *Heliocheilus albipunctella* de Joannis (Lepidoptera, Noctuidae), is a major obstacle to the intensification of its production.

A field network was monitored in 2015 and 2016 in the Bambey and Nioro du Rip areas in Senegal, to assess the incidence of the millet head miner and regulation of its populations by natural enemies. The incidence of the millet head miner was high in the two studied areas, with on average 79% of infested panicles. However, large control of egg and larval populations by natural enemies (68%), limited the loss of grain yield (1-20%). Molecular sequencing tools (Next Generation Sequencing) combined with morphological identification were used to construct a reference library of the millet-based entomofauna. Knowledge of the structure of the trophic networks associated to the millet head miner should help to better define the modalities of controlling the ecological processes related to regulation of its populations, with a view to stepping up conservation biological control.

Keywords: crop pests, conservation biological control, functional biodiversity, natural enemies, Africa.

INTRODUCTION

En Afrique sub-saharienne, le mil [*Pennisetum glaucum* (L.) R.Br., 1810] constitue l'une des principales céréales cultivées, avec une production annuelle de plus de 10 millions de tonnes (FAO, 2015; 2016). Il constitue la principale source de nourriture de plus de 60 millions de personnes. Le mil peut significativement contribuer à l'autosuffisance alimentaire dans les zones arides car il a la capacité de s'adapter à des conditions climatiques particulièrement difficiles (sécheresse, faible fertilité des sols) où d'autres cultures ne peuvent généralement pas être mises en place (Bezançon et Pham, 2004). Le mil est l'hôte de plusieurs insectes, dont la mineuse de l'épi de mil (MEM), *Heliocheilus albipunctella* de Joannis, 1825 (Lepidoptera, Noctuidae), son principal ravageur (Risbec, 1950; Appert, 1957; Ndoye et al. 1984; Gahukar, 1984; Nwanze et Harris, 1992; Nwanze et Youm, 1995). Endémique de la zone sahélienne, la MEM a été reconnue comme ravageur clé lors de la sécheresse qui a sévi entre 1972 et 1974 (Vercambre, 1978; Gahukar, 1984). C'est une espèce monophage univoltine dont la répartition géographique s'étend dans la zone bioclimatique soudano-sahélienne (Nwanze et Sivakumar, 1990). L'émergence des adultes intervient généralement un mois après les premières pluies (Baldé, 1993). Après accouplement, les femelles pondent environ 400 œufs sur les épis de mil, sur les soies de l'involucre de la fleur ou sous les étamines, mais également au niveau des pédoncules floraux ou sur le rachis (Nwanze et Harris, 1992; Kadi Kadi et al. 2012). Après éclosion, les jeunes larves perforent les glumes et dévorent l'intérieur des fleurs, tandis que celles plus âgées coupent les pédoncules floraux (Vercambre 1978; Gahukar, 1990), empêchant la formation des grains et provoquant leur chute. Les dégâts causés réduisent considérablement la production de mil. L'impact de la mineuse sur les rendements dépend de la coïncidence entre le pic de vol des papillons et l'épiaison et de la capacité des grains non détruits à compenser les pertes (Gahukar, 1984).

Plusieurs stratégies ont été testées pour lutter contre ce ravageur. Les méthodes de contrôle cultural comme le décalage des dates de semis ou le labour profond se trouvent respectivement limitées par les pertes de rendement et l'érosion du sol (Payne et al. 2011). L'absence de variétés résistantes et le caractère non durable de la lutte chimique, ou simplement son coût, font de la lutte biologique par conservation un levier à actionner (Gahukar, 1990; Nwanze et Sivakumar, 1990; Nwanze et Harris, 1992). Son efficacité passe avant tout par une bonne connaissance des ennemis naturels présents dans l'agroécosystème et de leur système de vie (Ode et Heimpel, 2016). Des inventaires des ennemis naturels associés à *H. albipunctella* ont été effectués par Gahukar (1984) et Bhatnagar (1987). Ces auteurs ont dressé un premier tableau de l'entomofaune d'intérêt pour la régulation de ce ravageur au Sénégal. Depuis, des programmes de lutte biologique basés essentiellement sur des lâchés inondatifs de *Habrobracon hebetor* ont été réalisés (Bhatnagar, 1987a; Payne et al. 2011; Ba et al. 2013; Baoua et al. 2014). Cependant, cet ectoparasite grégaire n'empêche pas les dégâts car il intervient tardivement et ne parvient pas à se maintenir dans l'environnement pendant la saison sèche (Kabore et al. 2017). Nos premières observations ont montré une forte régulation de *H. albipunctella* par ses ennemis naturels (Thiaw et al. 2017). D'autres études montrent qu'il est nécessaire de prendre en compte toute la richesse spécifique et la diversité fonctionnelle des espèces recensées, pour améliorer la régulation naturelle des ravageurs des cultures (Bianchi et al. 2006; Burel et al. 2013). L'identité des espèces présentes dans les agroécosystèmes à base de mil, leur importance dans la régulation du ravageur ainsi que leur réponse aux propriétés du paysage et aux pratiques culturales restent très largement méconnues, ce qui freine le développement de pratiques favorables. Notre étude avait pour objectifs (i) de quantifier l'incidence et les dégâts de la MEM et (ii) d'évaluer l'impact de la régulation de ses populations par les ennemis naturels.

MATERIEL ET MÉTHODE

ZONES D'ETUDE

Cette étude a été conduite dans les zones de Bambey (14°43'0.79"N ; 16°30'5.56"O) et Nioro du Rip (13°45'20.39"N ; 15°47'12.29"O), situées toutes deux dans le bassin arachidier au Sénégal. La zone de Bambey est sous l'influence d'un climat sahélo-soudanien avec une courte saison pluvieuse (400-500 mm) de juillet à octobre. Le paysage est de type savanne avec des arbres (principalement *Faidherbia albida*, *Balanites aegyptiaca*, et *Adansonia digitata*) formant des parcs agroforestiers. Nioro du Rip est sous l'influence d'un climat soudano-sahélien avec plus de pluie (700 à 800 mm). Le paysage est une savane avec moins d'arbres (principalement *Cordyla pinnata*, *Anogeissus leiocarpus*, *Piliostigma reticulatum*), mais avec des zones semi-naturelles comprenant des parcours pour l'élevage et des forêts claires. Dans les deux zones, les cultures comprennent principalement le mil, l'arachide et le niébé. Un réseau de 60 parcelles de mil, 32 à Bambey et 28 à Nioro, ont été sélectionnées. Elles étaient distantes d'au moins 2 km l'une de l'autre et n'ont été l'objet d'aucun traitement insecticide. Des observations et des prélèvements ont été réalisés depuis l'épiaison jusqu'à la maturité des épis, au cours des deux campagnes agricoles 2015 et 2016.

SUIVI DES PARCELLES DE MIL

Incidence de la MEM

L'incidence de la mineuse de l'épi de mil et des ravageurs secondaires de l'épi (*Helicoverpa armigera* et *Massalia nubila*) a été suivie par comptage des larves sur un échantillon de 50 épis par parcelle, au stade remplissage des grains.

Parasitisme et prédation associés à la MEM

Des œufs et des larves de la mineuse ont été collectés puis élevés au laboratoire pour un diagnostic du parasitisme associé. Les œufs ont été triés et incubés à température ambiante dans des piluliers cubiques (2 cm d'arête). Les larves collectées ont été mises en élevage en individuel sur du milieu artificiel (Southland Products, USA). Les parasitoïdes qui émergent des œufs et des larves ont été récoltés puis conservés à -20° dans des microtubes contenant de l'alcool 90, pour identification morphologique et séquençage ultérieur. Les autres arthropodes présents sur les plantes de mil, en particulier sur l'épi, ont été récoltés à vue puis conservés dans de l'éthanol 90. Les spécimens ont été pré-identifiés jusqu'à l'ordre ou la famille, suivant les groupes (Delvare et Aberlenc, 1989), puis envoyés à des spécialistes de chaque groupe taxonomique pour une identification morphologique jusqu'à l'espèce.

Régulation naturelle de la MEM

La pose de manchons d'exclusion a été effectuée pour estimer l'impact de la prédation et du parasitisme sur les œufs et les larves suivant trois modalités : [1] épis non infestés et non protégés (T0), [2] épis infestés et non protégés (T1), [3] épis infestés et protégés à l'aide d'un manchon en tulle (M). Cinq lots de 3 épis (3 modalités) par parcelle ont été suivis à partir de l'épiaison. Le comptage des larves a été effectué sur chaque épi, 18 jours après la pose des manchons. L'impact du contrôle biologique a été estimé à partir du calcul de l'indice BSI (Biocontrol Service Index) utilisé par Woltz et al. (2012).

Dégâts et dommages dus à la MEM

Pour déterminer les dommages dus à la mineuse, la longueur, le diamètre et le nombre de galeries par épi ont été mesurés sur 24 poquets par parcelle. Deux épis par poquet ont été choisis au hasard. Le pourcentage de perte en grain a été estimé à partir de relations allométriques établies entre la surface développée des galeries et la perte en poids de grains (Sow, 2013).

ANALYSE STATISTIQUE

Le modèle linéaire généralisé (GLM) a été utilisé pour évaluer l'effet de la zone et de l'année d'étude sur les variables à expliquer : incidence des ravageurs de l'épi, taux de parastisme des œufs et des larves de la MEM, BSI, dégâts et pertes de récolte. Le logiciel R version 3.2.3 a été utilisé (R. Core team, 2015).

RESULTATS

INCIDENCE DES RAVAGEURS DE L'ÉPI

Au total, 3000 épis ont été échantillonnés dans les deux zones d'étude. L'infestation des épis par des larves de MEM a été globalement élevée, avec 78,5% d'épis infestés et une importante variabilité entre parcelle (50-96%) (Tab. 1). L'infestation a été plus élevée à Nioro (80,7%) qu'à Bambey (75,3%). Nous avons également observé un pourcentage d'épis infestés plus important en 2016 (84,8%) qu'en 2015 (71,4%). On note aussi la présence d'autres noctuelles, à savoir *Massalia nubila* (2,1%, incidence plus forte à Bambey) et *Helicoverpa armigera* (0,3%).

DÉGÂTS ET DOMMAGES DUS À LA MEM

À la récolte, 85,2 (60-100%) et 74,0 (33-96%) des épis d'une parcelle présentaient au moins une galerie, à Bambey et Nioro, respectivement (Tab. 1). La proportion d'épis attaqués a été plus importante à Bambey qu'à Nioro. Notre estimation des dommages donne un pourcentage de perte moyen de 10,5 (4-18%) et 9,2 (1-20%) en poids de grain, respectivement à Bambey et Nioro, mais sans différence significative.

Tableau 1 : Incidence des ravageurs de l'épi de mil et dégâts dus à la MEM en fonction de la zone et de l'année d'étude. Moyenne (min-max).

Table1 : Pest incidence and damage caused by the MHM according to area and year of study. Mean (min-max).

Variables	Zone			Année		
	Bambey	Nioro	P	2015	2016	P
Epis infestés en larves (%)	80,7	75,2	**	71,3	84,8	***
<i>H. albipunctella</i>	(54,0 – 96,0)	(50,0 – 90,0)		(50,0 – 88,0)	(60,0 – 96,0)	
Epis infestés en larves (%)	3,3	0,3	**	4,2	0,3	**
<i>M. nubila</i>	(0 – 22,0)	(0 – 4,0)		(0 – 22,0)	(0 – 2,0)	
Epis infestés en larves (%)	0,4	0,3	NS	0,5	0,2	NS
<i>H. armigera</i>	(0 – 4,0)	(0 – 2,0)		(0 – 4,0)	(0 – 2,0)	
Epis avec des galeries (%)	85,2	74,0	***	83,8	77,9	NS
	(60,4 – 100)	(33,3 – 95,8)		(64,5 – 95,8)	(33,3 – 100)	
Nombre de galeries par épi	2,4	2,1	NS	2,2	2,3	NS
	(1,3 – 3,4)	(0,5 – 3,7)		(1,3 – 3,7)	(0,5 – 3,4)	
Longueur de galeries par épi (cm)	11,9	10,2	NS	10,8	11,5	NS
	(4,6 – 18,8)	(1,6 – 22,9)		(5,1 – 22,9)	(1,6 – 18,8)	
Perte en poids de grain (%)	10,5	9,2	NS	10,1	9,9	NS
	(4,1 – 17,9)	(1,2 – 19,7)		(5,4 – 19,7)	(1,2 – 17,9)	

REGULATION NATURELLE DE LA MEM

Parasitisme des œufs

Un suivi de 5020 œufs (28-178 œufs par parcelle) a été réalisé au laboratoire pour déterminer le taux de parasitisme (Tab. 2). Le taux de parasitisme a été globalement modéré, avec 14,8% à Bambey et 14,7% à Nioro, mais très variable d'une parcelle à l'autre (0-78%). Le parasitisme des œufs a été plus important en 2015 (23,1%) qu'en 2016 (7,5%). Tous les parasitoïdes adultes émergeant des œufs parasités ont été identifiés comme *Trichogrammatoidae armigera* (Manjunath, 1972).

Parasitisme larvaire

Sur les 10046 larves suivies au laboratoire, nous avons obtenu un taux de parasitisme de 52,7 (35-79%) et 52,3 (22-76%), respectivement à Bambey et à Nioro. Ni la zone ni l'année n'ont eu un effet sur le parasitisme larvaire. Au total, 11 espèces de parasitoïdes primaires ont été recensées. Elles comprennent *Copidosoma primulum* Mecet (Encyrtidae) et *Schoelandella sahelensis* Huddleston & Walker (Braconidae), avec respectivement 16,0 (0-55%) et 11,5 (0-39,2%) du parasitisme larvaire, mais également *Pristomerus pallidus*, *Kriechbaumer* (Ichneumonidae) et des tachinaires (3 espèces putatives) non identifiées, avec respectivement 3,7 (0-46%) et 3,5 (0-38,5%) du parasitisme larvaire (Tab. 2).

Prédateurs

Parmi les prédateurs potentiels collectés sur les épis de mil, une espèce de Forficulidae (*Forficula senegalensis*) et d'*Orius* sp., sont les plus abondants sur les épis durant la ponte et au cours du développement des jeunes larves, avec une abondance relative de 24 et 6%, respectivement. On note également une abondance relative importante des fous (30%), punaises (20%), araignées (14%), larves de carabes (5%) et coccinelles (dont *Declivata hamata*).

Régulation naturelle

Le taux de régulation naturelle (BSI) s'élève à 66,3 (0-100%) à Bambey et 71,2 (25-100%) à Nioro, avec une forte variabilité entre parcelles (0-100%). La régulation naturelle n'est pas significativement différente entre les deux zones ou les deux années étudiées (Tab. 2).

Tableau 2 : Parasitisme et régulation naturelle de la MEM en fonction de la zone et de l'année d'étude. Moyenne (min-max).

Table 1 : Parasitism and natural regulation of MHM according to area and year of study. Mean (min-max).

Variables	Zone			Année		
	Bambey	Nioro	P	2015	2016	P
Parasitisme des œufs (%)	14,8 (0 – 78,1)	14,7 (1,1 – 41,6)	NS	23,1 (0 – 78,1)	7,5 (0 – 27,0)	***
Parasitisme des larves (%)	52,6 (35,1 – 79,3)	52,3 (22,0 – 76,4)	NS	51,2 (35,2 – 79,4)	53,6 (22,0 – 76,5)	NS
BSI (%)	66,2 (0 – 100)	71,2 (25,0 – 100)	NS	63,9 (0 – 100)	72,0 (0 – 100)	NS

DISCUSSION

Nos observations de l'infestation des épis confirment une forte incidence de la MEM dans les deux zones d'étude, mais significativement plus importante à Bambey qu'à Nioro. On constate également que la mineuse reste le principal ravageur de l'épi de mil, puisqu'une faible incidence des autres ravageurs, *H. armigera* et *M. nubilae*, est relevée, conformément aux observations antérieures (Vercambre, 1978; Gahukar, 1987). L'importante variabilité des infestations entre parcelles pourrait être liée à la variabilité de facteurs comme les pratiques culturales ou la composition du paysage autour des parcelles, qui auraient un effet sur le comportement de dispersion de la MEM ou sur l'importance de la régulation par les ennemis naturels (Gahukar et al. 1986).

La régulation naturelle est globalement importante dans les deux zones, mais très variable entre parcelles. L'impact des parasitoïdes dans la régulation de la MEM est globalement élevé. De nouvelles espèces ont été découvertes, il s'agit de *Schoelandella* sp., *Chelonus* sp., *Protopanteles* sp., et deux hyper-parasitoïdes, *Perilampus* sp. et *Aphagnomus*, respectivement sur *Pristomerus pallidus* et *Protopanteles* sp. Dans notre étude, le taux de parasitisme des œufs (11%) est relativement faible comparé à ceux rapportés par d'autres auteurs, variant entre 9 et 75% au Sénégal (Bhatnagar, 1987b; Bal, 1993), mais reste très variable (0-78%). *Trichogrammatoidea armigera* est l'unique parasitoïde oophage retrouvé. Pour les parasitoïdes larvaires, on relève une richesse spécifique

modérée de parasitoïdes (n = 13). *Copidosoma primulum* (Mecet) domine largement le parasitisme larvaire de la MEM. C'est un endoparasitoïde polyembryonnaire dont les femelles adultes pondent dans les œufs de la MEM. Les larves se développent dans la larve de l'hôte, ne la tuant qu'après qu'elle s'est enfouie dans le sol. Les larves de *C. primulum* entrent alors en diapause dans le sol et émergent la saison suivante après l'installation des pluies. De ce fait, ce parasitoïde n'a pas un impact direct sur les dégâts, mais réduit significativement la population résiduelle dans le sol. Dans la littérature, ce parasitoïde pourrait être responsable d'environ 30% de parasitisme larvaire au Sénégal (Gahukar, 1984). Ceci est en accord avec nos résultats, avec un maximum de 34% en 2016. *Schoelandella sahelensis* (synonymie de *Cardiochiles sahelensis*) est un endoparasitoïde solitaire, dont les femelles pondent dans les chenilles à des stades jeunes (L1 et L2) et les tuent aux stades âgées dans le sol. Comme *C. primulum*, les larves de ce parasitoïde entrent en diapause et émergent au même moment que la MEM. Le taux de parasitisme moyen de 12% dû à ce parasitoïde est légèrement inférieur à ce qui a été rapporté par Bhatnagar (1987a) qui a enregistré un taux de parasitisme larvaire dû à *C. sahelensis* de 29% sur des chenilles suivies au laboratoire au Sénégal.

Nous constatons une perte en grain due à la MEM modérée, de 9% à Bambey et de 12% à Nioro, mais variable entre parcelle (1-20%). Ces résultats sont comparables à ceux trouvés par Bal et al (1995) qui mentionnaient un pourcentage de perte en grain de 10,8% en 1987. Les fort taux d'infestation observés sont en partie compensés par la régulation naturelle des populations de la MEM. Sur la base de nos résultats, on peut estimer que sans cette régulation des populations de la MEM par les ennemis naturels, les pertes de grains auraient dépassé 90% dans un quart des champs de mil observés.

CONCLUSION

Les résultats de la présente étude confirment le statut de ravageur clé de la MEM dans le bassin arachidier au Sénégal. Une forte variabilité entre parcelles est cependant observée, probablement liée à l'importance de la régulation naturelle et aux facteurs climatiques légèrement différents. Si le parasitisme associé au stade embryonnaire reste relativement faible, le parasitisme larvaire est important et une diversité notable d'espèces prédatrices a été observée sur les épis de mil. Pour mieux mesurer la contribution des ennemis naturels, en particulier leur diversité spécifique et fonctionnelle, nous avons mis en place parallèlement à ce travail, une librairie de référence pour l'identification moléculaire via l'utilisation du DNA barcode des arthropodes des agroécosystèmes à base de mil. Ce travail va permettre une identification rapide et fiable des arthropodes des agroécosystèmes à base de mil, et ouvre des perspectives pour l'étude de processus écologiques comme le parasitisme et la prédation. Une meilleure connaissance de la structure des réseaux trophiques associés à la mineuse de la chandelle de mil doit permettre de mieux définir les modalités de pilotage des processus écologiques de régulation de ses populations, dans une perspective de renforcement de la lutte biologique par conservation.

REMERCIEMENTS

Les insectes collectés ont été triés et identifiés sur des critères morphologiques avec l'appui de Gérard DELVARE (Hyménoptères), Henri-pierre ABERLENC (Coléoptères), Jean Claude STRETO (Hétéroptères) du Centre de Biologie pour la Gestion des Populations (CBGP) de Montpellier (Campus International de Baillarguet/Montferrier sur Lez, France) et du Muséum National d'Histoire Naturelle (Paris, France).

BIBLIOGRAPHIE

- Ba, M. N., Baoua, I. B., N'Diaye, M., Dabire-Binso, C., Sanon, A., and Tamò, M. 2013. "Biological Control of the Millet Head Miner *Heliocheilus albipunctella* in the Sahelian Region by Augmentative Releases of the Parasitoid Wasp *Habrobracon hebetor*: Effectiveness and Farmers' Perceptions." *Phytoparasitica* 41 (5): 569–76. doi:10.1007/s12600-013-0317-x.
- Bal, A. B. 1993. "Etude Du Parasitisme Naturel d'*Heliocheilus albipunctella* de Joannis (Lepidoptere: Noctuidae) Par *Trichogrammatoidea* sp. (Hymenoptere: Trichogrammatidae) a Bambey." *Insect Science and Its Application* 14 (2): 221–221.
- Baoua, I. B., L. Amadou., N. Oumarou., W. Payne., J. D. Roberts., K. Stefanova., and C. Nansen. 2014. "Estimating Effect of Augmentative Biological Control on Grain Yields from Individual Pearl Millet Heads." *Journal of Applied Entomology* 138 (4): 281–88. doi:10.1111/jen.12077.
- Bezançon G., Pham, J.-L. 2004. Ressources génétiques des mils en Afrique de l'Ouest: diversité, conservation et valorisation : actes de l'atelier "Diversité, conservation et valorisation des ressources génétiques des mils", ICRISAT, Niamey (Niger), 28-29 mai 2002. IRD. Colloques et séminaires. France: BEZANÇON G., PHAM J.-L.
- Bhatnagar V. S. 1987a. "Recherche et Développement de La Lutte Intégrée Contre Les Ennemis Des Principales Cultures Vivrières Dans Les Pays Du Sahel. Programme de Lutte Biologique. Synthèse Des Activités (1981-1986) et Recommandation." FAO.
- Bhatnagar, V. S. 1987b. "Conservation and Encouragement of Natural Enemies of Insect Pests in Dryland Subsistence Farming: Problems, Progress and Prospects in the Sahelian Zone." *ResearchGate* 8 (4–6): 791–95. doi:http://dx.doi.org/10.1017/S1742758400022931.
- Bianchi, F.J.J.A., C.J.H. Booij., and T. Tscharntke. 2006. "Sustainable Pest Regulation in Agricultural Landscapes: A Review on Landscape Composition, Biodiversity and Natural Pest Control." *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 273 (1595): 1715–27. doi:10.1098/rspb.2006.3530.
- Burel, F., C. Lavigne., E.J.P. Marshall., A.C. Moonen., A. Quin., and Poggio, S.L. 2013. "Landscape Ecology and Biodiversity in Agricultural Landscapes." *Agriculture, Ecosystems & Environment* 166 (February): 1–2. doi:10.1016/j.agee.2013.01.001.
- Delvare, G., and H-P. Aberlenc. 1989. Les insectes d'Afrique et d'Amérique tropicale: clés pour la reconnaissance des familles. *Editions Quae*.
- FAO. 2015. "FAOSTAT Database."
- FAO. 2016. "La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture 2016 (SOFA): Changement climatique, agriculture et sécurité alimentaire." Rapport annuel. Rome. <http://www.fao.org/3/a-i6030f.pdf>.
- Gahukar, R. T. 1984. "Insect Pests of Pearl Millet in West Africa: A Review." *International Journal of Pest Management* 30 (2): 142–147.
- Gahukar, R.T. 1990. "Sampling Techniques, Spatial Distribution and Cultural Control of Millet Spike Worm, *Raghuva albipunctella* (Noctuidae: Lepidoptera)." *Annals of Applied Biology* 117 (1): 45–50. doi:10.1111/j.1744-7348.1990.tb04193.x.
- Gahukar, R.T. 1987. "Relationship between spike worm (*Raghuva albipunctella*) infestation and flowering of pearl millet, and some sources of resistance." *Agronomie* 7 (8): 595–98. doi:10.1051/agro:19870806.
- Kabore, A., N. M. Ba., C. L. Dabire-Binso., and A. Sanon. 2017. "Field Persistence of *Habrobracon hebetor* (Say) (Hymenoptera: Braconidae) Following Augmentative Releases against the Millet Head Miner, *Heliocheilus albipunctella* (de Joannis) (Lepidoptera: Noctuidae), in the Sahel." *Biological Control*. Accessed March 7. doi:10.1016/j.biocontrol.2017.03.001.
- Kadi Kadi H.A., F.E. Gilstrap., G.L. Teetes., O. Youm., and B.B. Pendleton. 2012. "Laboratory Life-Fertility Table Assessment and Field Biology of Millet Head Miner (Lepidoptera: Noctuidae) in Niger." <http://hdl.handle.net/1969.1/ETD-TAMU-1999-THESIS-A12>.
- Balde, M. 1993. "Synthèse des Acquis de La Recherche Entomologique sur les Cultures Céréalières et Légumineuses." 236/93. Bambey (SENEGAL): CNRA.

- Ndoye, M., R.T. Gahukar., A. G. Carson., C. J. Selvaraj., D. F. Mbaye., and S. Diallo. 1984. "Les Problèmes Phytosanitaires Du Mil Dans Le Sahel." In, 79–95. Niamey, NIGER.
- Nwanze, K. F., and K. M. Harris. 1992. "Insect Pests of Pearl Millet in West Africa." *Review of Agriculture Entomology* 80 (12): 1132–1155.
- Nwanze, K. F., and M. V. K. Sivakumar. 1990. "Insect Pests of Pearl Millet in Sahelian West Africa—II. *Raghuva albipunctella* De Joannis (Noctuidae, Lepidoptera): Distribution, Population Dynamics and Assessment of Crop Damage." *Tropical Pest Management* 36 (1): 59–65. doi:10.1080/09670879009371433.
- Nwanze, K. F., O. Youm. 1995. "Panicle insect pests of sorghum and pearl millet: proceedings of an international consultative workshop, 4-7 Oct 1993, ICRISAT Sahelian Center, Niamey, Niger." In. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics.
- Ode, P. J., and G. E. Heimpel. 2016. "Editorial Overview: Parasites/Parasitoids/Biological Control: Communities without Parasitoids?" *Current Opinion in Insect Science, Ecology* * Parasites/Parasitoids/Biological control, 14: viii–x. doi:10.1016/j.cois.2016.03.006.
- Payne, W., H. Tapsoba., B. I. Baoua., N. M. Ba., M. N'diaye., and C. Dabire-Binso. 2011. "On-Farm Biological Control of the Pearl Millet Head Miner: Realization of 35 Years of Unsteady Progress in Mali, Burkina Faso and Niger." *International Journal of Agricultural Sustainability* 9 (1): 186–93. doi:10.3763/ijas.2010.0560.
- R. Core Team. 2012: A language and environment for statistical computing. R Fundation for Statistical Compunting, Vienne, Austria. 2013.
- Gahukar R.T., W.S. Bos., V.S Bhatnagare., E. Dieme., E. Fytizas., and A.B. Bal. 1986. "Acquis recents en entomologie du mil au Sénégal." Rapport annuel. SENEGAL.
- Sow, A. 2014. "Impact et régulation naturelle de la mineuse de l'épide mil, *Heliocheilus albipunctella* (Lepidoptera, Noctuidae) : étude de cas dans le bassin arachidier au Sénégal (Bambey)." Mémoire d'étude pour l'obtention du Diplôme de Master II en Biologie Animale, spécialité Entomologie 189. Dakar: UCAD. about:blank.
- Thiaw, I., V. Soti, F.-R. Goebel., A. Sow., T. Brévault., and M. Diakhate. 2017. "Effect of Landscape Diversity on Biocontrol of the Millet Head Miner, *Heliocheilus albipunctella* (Lepidoptera: Noctuidae), in Senegal." *Landscape Management for Functional Biodiversity IOBC-WPRS Bulletin* 122: 38–42.
- Vercambre, B. 1978. "*Raghuva Spp.* et *Masalia Sp.*, Chenilles Des Chandelles Du Mil En Zone Sahelienne." *Agronomie Tropicale* 33: 62–79.
- Woltz, J. M., R. Isaacs., and D. A. Landis. 2012. "Landscape Structure and Habitat Management Differentially Influence Insect Natural Enemies in an Agricultural Landscape." *Agriculture, Ecosystems & Environment* 152: 40–49. doi:10.1016/j.agee.2012.02.008.