

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)

Résumé

Depuis son apparition lors de la période de sécheresse de 1972-1974, *Heliocheilus albipunctella* de Joannis (Lepidoptera, Noctuidae), reste le principal ravageur du mil en Afrique sahélienne. Après éclosion, les jeunes larves perforent les glumes et dévorent l'intérieur des fleurs, tandis que celles plus âgées coupent les pédoncules floraux, formant ainsi des galeries sur l'épi selon un tracé en spirale caractéristique, entraînant ainsi des pertes importantes de rendement. L'objectif de notre étude consistait à évaluer l'incidence de *H. albipunctella* dans la zone de Bambey et le rôle des ennemis naturels dans la régulation des populations au cours de la campagne agricole 2013.

L'incidence de la mineuse de l'épi de mil a été évaluée par le comptage des œufs et des larves sur 50 épis, puis par l'estimation des dommages associés, sur 45 parcelles d'observation situées dans une zone de 20*20 km centrée sur la ville de Dangkalma (Département de Bambey). Un dispositif comprenant trois modalités (1) épis infestés par des œufs et protégés à l'aide d'un manchon en mousseline, (2) épis infestés par des œufs et non protégés, (3) épis non infestés (les œufs observés sont enlevés) et non protégés, a été mis en place pour estimer l'impact de la régulation naturelle sur les œufs et les larves de *H. albipunctella*.

Dans la zone étudiée, l'incidence du ravageur est globalement importante mais variable selon les parcelles, avec de 12 à 78% des épis infestés en œufs, et de 50 à 94% des épis infestés par au moins une larve. Une préférence de ponte sur les épis à l'initiation florale et en floraison femelle a été observée. Les épis des parcelles levées tardivement (2,4 œufs/épi) sont significativement plus infestés que les épis des parcelles levées précocement (1,3 œufs/épi). Le pourcentage de perte en grains varie entre 4 et 17% (10% en moyenne). Le taux de régulation naturelle des œufs et des larves est globalement important (59%) mais très variable selon les parcelles (0-99%). Un faible taux de parasitisme des œufs (2%) est observé, dû principalement à des Trichogrammatidae. Le parasitisme larvaire est dominé par des Ichneumonidae (8,6%) et des Tachinidae (5,2%). Il conviendra de préciser les agents impliqués dans la régulation naturelle observée, en particulier les prédateurs, mais aussi l'effet des pratiques culturales et du contexte paysager, en vue d'un renforcement du contrôle biologique de la mineuse de l'épi de mil dans les agroécosystèmes sahéliens.

Mots clés : mil ; agroécosystèmes sahéliens, lutte biologique ; ennemis naturels ; dégâts

Abstract

Since its occurrence during the drought period 1972-1974, *Heliocheilus albipunctella* Joannis (Lepidoptera, Noctuidae), has been the main pest of pearl millet in Sahelian Africa. After hatching, young larvae pierce stalk husks and eat flowers, while older ones cut flower stalks, forming mines on the ear in a characteristic spiral, resulting in significant yield losses. The aim of our study was to assess the impact of *H. albipunctella* in the area of Bambey and the role of natural enemies in regulating populations during the 2013 cropping season.

Incidence of the millet head miner was assessed by counting eggs and larvae of 50 ears, and by estimating associated losses, from 45 focal fields located in a 20 * 20 km area centered on the city of Dangkalma (Department of Bambey). An experimental design consisting of three modalities (1) ears infested with eggs and protected with a mesh (2) unprotected ears infested with eggs, and (3) unprotected and non-infested ears (eggs were previously removed), was established to estimate the impact of natural regulation of eggs and larvae of *H. albipunctella*.

In the study area, the overall incidence of the pest was important but variable depending on fields, with 12-78 % of ears infested with eggs, and 50-94 % of ears infested with at least one larva. Ovipositing preference was observed on ears from initiation to female flowering. Late- (2.4 eggs/ear) were significantly more infested than early- fields (1.3 eggs/ear). Grain losses varied between 4 and 17% (on average 10%). The rate of natural regulation of eggs and larvae was generally high (59%) but was highly variable among fields (0-99%). A low rate of egg parasitism (2%) was observed, mainly due to Trichogrammatidae. Larval parasitism was dominated by Ichneumonidae (8.6%) and Tachinidae (5.2%). Further research should focus on a better knowledge of agents involved in natural regulation, especially predators, but also the effect of cultural practices and landscape context, to enhance biological control of the millet head miner in Sahelian agroecosystems.

Keywords: millet; sahelian agroecosystems; biological control; natural enemies; damage

Sommaire

Dédicace.....	I
Remerciement.....	II
Liste des figures et tables.....	III
Liste des abréviations.....	IV
Introduction Générale	01
CHAPITRE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE	
I.1. Le MIL (<i>Pennisetum glaucum</i>).....	03
I.1.1. Systématique de <i>Pennisetum glaucum</i>	03
I.1.2. Développement et croissance du mil.....	03
I.1.3. Bio-écologie et mode de reproduction.....	04
I.1.4. Système de culture.....	04
I.2. La mineuse de l'épi de mil.....	05
I.2.1. Taxonomie.....	05
I.2.2. Biologie et écologie de <i>Heliocheilus albipunctella</i>	06
I.2.3. Plantes hôtes.....	07
I.2.4. Ennemis naturels.....	07
I.2.5. Méthodes de lutte.....	09
I.2.5.1. Contrôle cultural.....	09
I.2.5.2. Lutte Biologique.....	09
I.3. Système Agro-Forestiers (SAF).....	10
I.3.1. Définition.....	10
I.3.2. Situation et intérêt des SAF en Afrique de l'ouest	10
CHAPITRE II : MATÉRIELS ET MÉTHODES	
II.1 Zone et dispositif d'étude.....	13
II.2. Enquêtes agronomiques.....	14
II.3. Suivi des pontes et du parasitisme.....	14
II.3.1. Suivi au champ.....	14
II.3.2. Suivi au laboratoire.....	15
II.4. Suivi des infestations larvaires et du parasitisme.....	15
II.4.1. Suivi au champ.....	15
II.4.2. Suivi au laboratoire.....	15
II.5. Estimation de l'impact de la régulation naturelle des œufs et les larves.....	16
II.6. Estimation des dommages.....	17

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION

III. Résultats.....	18
III.1. Distribution spatiale des infestations (œufs).....	18
III.2. Parasitisme des œufs.....	19
III.3. Distribution spatiale des infestations (larves).....	20
III.4. Parasitisme des larves.....	21
III.5. Régulation naturelle.....	22
III.6. Dégât et dommages dues à <i>Heliocheilus albipunctella</i>	22
IV. Discussion.....	24
Conclusion et perspectives.....	26
Références bibliographiques.....	30

LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX

Figure 1 :Cycle de développement de la mineuse de l'épi de mil.....	p.07
Figure 2 : Carte site d'étude Ndangalma-Bambey.....	p.13
Figure 3 : Parcelles de mil du dispositif d'étude.....	p.14
Figure4 :Plan d'échantillonnage.....	p.15
Figure 5a :Sac en tissu « Malikane ».....	p.15
Figure 5b :Diapositif d'élevage de larve.....	p.15
Figure 6 : Dispositif d'étude de la régulation naturelle.....	p.16
Figure 7 : Variation de la moyenne du nombre et de la présence d'œufs en fonction du stade de l'épi...p.18	
Figure 8 : Carte de distribution du nombre moyenne d'œufs en fonction des parcelles.....	p.19
Figure 9 : Carte de distribution du taux de parasitisme des œufs.....	p.19
Figure 10 : Carte de répartition spatiale de la fréquence d'épi infesté en larve d' <i>Heliocheilus albipunctella</i>	p.20
Figure 11 : Relation entre nombre d'œufs et larves d' <i>Heliocheilus albipunctella</i>	p.21
Figure 12 : Carte de distribution du taux de parasitisme des larves selon les parcelles.....	p.22
Figure 13 : Carte de distribution spatiale de la régulation naturelle.....	p.22
Figure 14 : Carte de distribution spatiale des moyennes de perte en grains.....	p.23
Tableau 1 : Les principaux ennemis naturels en fonction de la phénologie de la plante et du ravageur selon la littérature (Guevremont, 1982 ; Bhatnagar, 1987 ; Gahukar <i>et al.</i> ,1986 ; Ndoye, 1989 ; Thiam et van der Valk, 1996).....	p.08
Tableau 2.a : Moyenne, minimum, maximum, et valeur <i>n</i> , du nombre d'œufs d' <i>Heliocheilus albipunctella</i> par épi, de la fréquence d'épi infestés par <i>H. albipunctella</i> , du taux d'éclosion des œufs, et du taux de parasitisme des œufs.....	p.18
Tableau 2.b :valeurs statistiques associés à la variation de la moyenne du nombre d'œuf en fonction de la floraison.....	p.18
Tableau 3 : Moyenne, minimum, maximum et valeur <i>n</i> , du nombre de larve d' <i>H. albipunctella</i> par épi, de la fréquence d'épis infestés par <i>H. albipunctella</i> , du nombre de larve <i>Helichoverpa armigera</i> par épi, du nombre de larve de <i>Massalia sp.</i> par épi.....	p.20
Tableau 4 :Moyenne, minimum, maximum et valeur <i>n</i> du taux de nymphose des larves, du taux d'émergence des adultes, et du taux de parasitisme des larves d' <i>Heliocheilus albipunctella</i>	p.21
Tableau 5 : Moyenne, minimum, maximum et valeur <i>n</i> , du taux de parasitisme estimé des larves d' <i>H. albipunctella</i> , du taux de régulation naturelle.....	p.22
Tableau 6 : Moyenne, minimum, maximum, et valeur <i>n</i> , du nombre d'épi attaqués par <i>H. albipunctella</i> , de la perte en grain due à <i>H. albipunctella</i> (%), du nombre de galeries par épi, de la longueur de galeries par épi (cm).....	p.23

LISTE DES ABREVIATIONS

AFAF	<i>Association Française d'Agroforesterie.</i>
BSI	<i>Biocontrol Service Index.</i>
CBGP	<i>Centre Biologique pour la gestion des populations.</i>
CCRP	<i>Collaborative Crop Research Program.</i>
CIRAD	<i>Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement.</i>
FAO	<i>Food and Agriculture Organization.</i>
GPS	<i>Global Positioning System.</i>
ICRISAT	<i>International Crop Research Institute for the Semi-Arid Tropics.</i>
IFAN	<i>Institut fondamentale d'Afrique Noire.</i>
IITA	<i>International Institute of Tropical Agriculture.</i>
ISRA	<i>Institut sénégalais de recherches agricole.</i>
SAF	<i>Systèmes Agroforestiers.</i>
UMR	<i>Unité Mixte de Recherche.</i>

Introduction générale

Le mil (*Pennisetum thyphoides* Stapf. Et Hubb) constitue de loin la culture et l'aliment de base le plus important pour la population de nombreux pays Africains et du Sénégal, en particulier. Il constitue pour la plupart des villages une importante source de protéine d'origine végétale (Mémento de l'agronome, 2002). Voir *Annexe 1*. Près de la moitié de la production mondiale de mil provient d'Afrique avec 13,3 millions de tonnes, dont près de 6,1 millions de tonnes pour le Nigéria, 2,2 Millions de tonnes pour le Niger, et 600.000 tonnes pour le Sénégal. La culture du mil occupe près de 1,1 millions d'hectares des terres cultivables au Sénégal, pour un rendement moyen variant entre 0,5 et 0,6 t/ha (FAO, 2001). Voir *Annexe 2*. Les faibles rendements entraînent une insuffisance de la production, ce qui continue de compromettre l'objectif d'autosuffisance alimentaire de 80%, fixé par la nouvelle politique agricole du Sénégal, et qui visait essentiellement à revaloriser la culture vivrière à base de mil. Un secteur qui a été longtemps relégué au second plan au détriment de la filière arachidière (Ba, 2008).

La faiblesse de ces rendements résulte de la combinaison de plusieurs contraintes d'ordre abiotique, essentiellement la sécheresse, et d'ordre biotique comme les insectes (mineuses, foreurs et cantharides), maladies (mildiou, charbon et ergot) et occasionnellement mauvaises herbes (*Striga hermonthica* Benth). A ces contraintes, s'ajoutent un épuisement progressif des sols, une faible application des itinéraires techniques recommandés (la jachère, la rotation, la culture associée, et la gestion des résidus cultureux et des mauvaises herbes, etc.) et le manque d'encadrement des producteurs (Ndiaye *et al.*, 2005).

Une bonne production n'est possible qu'avec une protection efficace contre les bioagresseurs des cultures. Parmi ceux-ci, les insectes occupent une place prépondérante par les dégâts occasionnés. La mineuse de la chandelle (*Heliocheilus albipunctella* Joannis) et les foreurs des tiges (*Coniesta ignefusalis* Hampson et *Sesamia calamistis* Hampson) peuvent constituer de véritables menaces pour la production de mil dans certaines régions semi-arides tropicales d'Afrique de l'Ouest, en particulier dans le bassin arachidier qui constitue la principale zone agricole du Sénégal. A titre exemple, au Sénégal, le taux d'infestation des épis de mil par la mineuse varie entre 13 et 100% (Vercambre, 1978; Gahukar, 1984) dans les années de forte pullulation. Dans la zone sahéenne, les taux d'infestation par les foreurs des tiges sont de l'ordre de 25 à 100% (Nwanze, 1989 in Youm *et al.*, 1996).

Lutter contre ces insectes ravageurs est une priorité nationale pour assurer une production suffisante à la consommation locale. Parmi les méthodes de lutte disponibles, celles d'ordre culturales se trouvent limitées par des pertes de rendement et l'érosion qu'elles occasionnent. L'absence de variétés résistantes et le caractère non durable de la lutte chimique, font de la lutte biologique la seule alternative prometteuse. Cependant, elle nécessite une bonne connaissance des différents antagonistes des ravageurs, de leur cycle de vie et de leur réponse à l'environnement (Payne *et al.*, 2011).

Face à toutes ces contraintes auxquelles se heurte la production du mil, et les « disservices » (perte de biodiversité, pollution agrochimique, érosion des sols, émissions de gaz à effet de serre) liés à la monoculture, l'agroforesterie à travers les services écosystémiques qu'elle fournit (support et régulation), apparaît aujourd'hui comme un modèle prometteur d'agriculture durable, sous réserve de mieux comprendre et maîtriser les facteurs de production (Harmand et Seghieri, 2012). La présence des systèmes agroforestiers naturels dans les zones semi-arides tropicales de l'Afrique de l'Ouest, à travers leurs rôles avérés dans la fertilité des sols (Peltier, 1996 ; Milleville, 2007), peuvent être considérés comme une véritable opportunité (Buttoud, 1994). Seulement, très peu d'information est disponible concernant les services de régulation naturelle des bioagresseurs par les SAF. Il est important de savoir que les systèmes agroforestiers, de par

leur structure complexe composée de strates et de milieux différents, offrent aux arthropodes une plus grande diversité de niche écologique dans le temps et dans l'espace qu'une simple mosaïque de culture annuelles. Ils peuvent ainsi jouer un rôle de source ou de relais pour les populations de bioagresseurs ou augmenter l'efficacité du contrôle biologique en offrant aux populations d'ennemis naturels des ressources (hôtes alternatifs, pollen et nectar, refuge ; Burel *et al.*, 2013; Carrière *et al.*, 2012; Chaplin-Kramer et Kremen 2012; Veres *et al.*, 2013; Monteiro *et al.*, 2013), en particulier pendant la saison sèche.

Notre étude s'inscrit dans un projet de recherche qui vise à évaluer l'effet de la composition et de la structure du paysage (en particulier arbres et zones semi-naturelles) sur l'abondance des insectes ravageurs dans le bassin arachidier au Sénégal. Elle s'intéresse en particulier à l'impact du contrôle biologique et au profil des ennemis naturels (richesse spécifique, abondance relative, etc.) impliqués dans la régulation écologique des populations de la mineuse de la chandelle de mil. La zone de Bambey, caractérisée par une mosaïque de cultures au sein de systèmes agroforestiers (parcs à *Faidherbia albida*) est choisie comme zone d'étude.

Dans le présent mémoire, il sera plus spécifiquement question de déterminer :

- L'abondance et la distribution spatiale des populations de la mineuse de l'épi de mil, *H. albipunctella*, dans la zone de Bambey au cours de la campagne agricole 2013.
- Le taux de parasitisme des œufs et des larves.
- Le potentiel de régulation naturelle des œufs et des larves, à partir de l'utilisation de manchons d'exclusion posés sur les épis après la ponte du ravageur.
- L'incidence du ravageur à partir de l'estimation des dégâts et de la perte en grain causés par la mineuse de l'épi de mil.

La première partie du document sera consacrée à la synthèse des connaissances sur la bio-écologie du ravageur étudié, le mil comme plante hôte principale (*Pennisetum glaucum*) du ravageur étudié, et sur les méthodes de lutte préconisées et les systèmes agroforestiers. Elle précise également les hypothèses de recherche et les objectifs du travail. La deuxième partie traite de la démarche méthodologique adoptée pour répondre à ces questions. Les résultats obtenus, ainsi que la discussion et la conclusion, seront exposés dans la troisième partie du document.

CHAPITRE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1. Le mil

La distribution géographique de la forme sauvage limitée en Afrique occidentale sahéenne laisse penser que c'est dans cette zone qu'il a été domestiqué pour la première fois (Bezançon *et al.*, 1997 ; Bezançon et Pham, 2004). Essentiellement produit en Asie (Inde, Asie du sud) et en Afrique, la production de mil couvre près de 30 millions d'hectares répartis principalement dans les zones arides et semi-arides de l'Afrique, avec 20 millions d'hectares cultivés pour une production de 11,9 millions de tonnes (Bezançon *et al.*, 1997). Le mil (*Pennisetum glaucum*), aliment de base des populations, est de loin la céréale la plus importante au Sénégal, tant pour les superficies emblavées que pour la production. Il est cultivé dans tout le pays, notamment dans la région de Kaolack, qui représente 26% des superficies cultivées et 39% de la production nationale, estimée à plus de 528 000 tonnes en 2005. Les rendements moyens en milieu paysan varient entre 0,5 et 0,6 t/ha (Ndiaye *et al.*, 2005). Parmi les quatre espèces cultivées, le *P. glaucum* est de loin la plus importante.

I.1.1. Systématique

Le mil pénicillaire, *P. glaucum*, est aussi appelé mil à chandelle ou petit mil. Pour les anglophones, l'appellation la plus fréquente est « pearl millet ». Les Indiens l'appellent « bajra » (Bezançon *et al.*, 1997).

Noms scientifiques :

Synonymes : *P. Typhoidum* Rich, *P. Spicatum* (L) Roern, *P. Americanum* (L) Leckc.

- ✓ **Famille:** Poacées (Graminées)
- ✓ **Sous famille:** Panicoidae
- ✓ **Tribu:** Paniceae
- ✓ **Section:** Pennicillariae
- ✓ **Genre:** *Pennisetum*
- ✓ **Espèce:** *glaucum*

Les mils cultivés en Afrique sont classés en mils hâtifs ou précoces (75 à 100 jours) et mil tardifs (110 à 150 jours) :

- Les mil hâtifs (*guero* au Niger et Nigeria et *souna* au Sénégal et Mali) sont cultivés dans des zones à faible pluviométrie
- Les mils tardifs (*maiwa* ou *somno* au Niger et Nigéria et *Sanio* au Sénégal et Mali) sont cultivés dans les régions les plus humides.
- Les mil très tardifs (180 jours)

Les variétés semi-tardives et tardives restent les plus utilisées dans la zone soudano-sahéenne tandis que les variétés à cycle court prédominent dans la zone climatique typiquement sahéenne (Clément *et al.*, 1993).

1.1.2. Développement et croissance du mil

On note chez le mil trois stades de développement végétatif: la levée, le tallage et la montaison.

- La levée a lieu 2 à 3 jours (Chopart, 1980 in Duivenbooden et Cissé, 1989) après le semis lorsque les conditions de l'environnement sont favorables. L'enracinement de la plante

dépendant de la nature du sol, il est donc nécessaire d'entreprendre une bonne préparation du sol avant le semis.

- Le tallage commence deux semaines après la levée et se poursuit jusqu'à la quatrième semaine. La capacité de production des talles est fonction de la variété et des techniques culturales (Lambert, 1983 in Duivenbooden et Cissé, 1989)
- La montaison est caractérisée par l'allongement des entre-nœuds et se poursuit jusqu'à l'épiaison.

Le développement reproductif comporte l'épiaison qui se produit entre 37 et 47 jours après semis. La floraison se situe entre 52 et 67 jours après levée (Duivenbooden et Cissé, 1989). L'épiaison et la floraison sont fortement influencées par les apports de matière organique (Cissé, 1986). Le développement de l'épi commence à l'intérieur de la tige pendant la montaison. La longueur de l'épi varie selon les variétés et peut aller de 20 à 100 cm.

I.1.3. Bio-écologie et mode de reproduction

Le mil est une espèce annuelle diploïde ($x = 7$, $2n = 2x = 14$), sexuée, hermaphrodite, préférentiellement allogame avec une protogynie fortement marquée. Sa pollinisation est anémophile. Le comportement photopériodique des variétés détermine le choix de leur implantation (Bezançon *et al.*, 1997).

Les mils pénicillaires sont des graminées de zones semi-arides chaudes avec des températures moyennes de 28°C pendant la saison de culture. Les mils sont généralement cultivés dans des zones ayant une pluviométrie variant entre 200 et 800 mm. Moins exigeant que le sorgho, le mil est généralement cultivé sur des sols légers et sablo-argileux bien drainés avec pH faible. Il tolère la sécheresse, un faible niveau de fertilité des sols et des températures élevées (Mémento de l'agronome, 2002).

I.1.4. Système de culture

Au Sénégal, le mil est cultivé soit en culture pure continue dans les champs de case ou en rotation avec l'arachide dans les champs de brousse, soit en culture associée avec le niébé dans le centre-nord. L'arachide, le niébé, la jachère enfouie et le maïs sont les meilleurs précédents culturels pour le mil (Duivenbooden et Cissé, 1989 ; Ndiaye *et al.*, 2005).

✓ Préparation du sol

Le labour du sol permet un meilleur développement de la plante et augmente ainsi le rendement. Deux sarclo-binages sont nécessaires pour lutter contre les mauvaises herbes (Ndiaye *et al.*, 2005). Le mil est cultivé sur des sols légers contenant plus de 65% de sable, donc faciles à travailler. L'adoption d'hybrides plus productifs nécessite l'utilisation de techniques performantes permettant le maintien de la fertilité des sols (Mémento de l'agronome, 2002).

✓ Semis

Il peut être réalisé à sec ou après une pluie de 20 mm ou plus. Au Sénégal, le semis en sol sec avant les pluies, pratiqué à partir du 10 juin dans le centre-sud et vers le 20 juin dans le centre-nord, donne de meilleurs résultats en termes de rendement que le semis en sol humide (Ndiaye *et al.*, 2005). Le mil est habituellement semé en poquets, dont l'espacement varie entre 45 * 45 cm et 100 * 100 cm en champ paysan, en fonction du système de culture et de la nature du sol. Le nombre de grains par poquet varie de quarante à plus de cent. Le semis en ligne facilite l'exécution des sarclages en culture attelée. Un modèle permettant de définir la densité optimale en fonction des paramètres architecturaux de la plante à partir du stade de l'anthèse a été élaboré (Pouzet, 1974 in

Ndiaye *et al.*, 2005). Les variétés précoces, d'architecture plus réduite, supportent des densités plus fortes (Jacquinot, 1972 in Ndiaye *et al.*, 2005). Le semis mécanique du mil est pratiqué avec un disque Bambey 70 n. 2 à 4 trous à la dose de 3 à 5 kg/ha (Havard, 1986).

✓ Entretien de la culture

Le démariage à trois plants par poquet est fait au moment du premier sarclage, dix à quinze jours après le semis. C'est une technique éprouvée qui peut augmenter le rendement de 350 à 450 kg/ha en année de faible pluviosité. En bonne année, le gain est de l'ordre de 100 kg/ha. Deux à trois désherbages sont réalisés à la main ou en traction animale.

Le mil répond bien à la fumure organique et à la fumure minérale. La rotation mil/légumineuse est intéressante : elle permet, par rapport à la monoculture, un gain de 200 à 350 kg/ha de grains (N'diaye *et al.*, 2005).

✓ Récolte et opérations post-récolte

Le mil est récolté à maturité et essentiellement à la main. Les épis sont coupés et séchés au soleil avant d'être engrangés dans des greniers construits avec les résidus de culture ou de l'argile. Le séchage se fait soit à même le sol, soit sur un lit de paille, soit sur des claies surélevées (perroquets) où les bottes sont entreposées, soit sur des séchoirs (cribs) orientés perpendiculairement à la direction des vents dominants (Ndiaye *et al.*, 2005). Le mil est généralement stocké sous forme d'épis. Cette pratique permet de réduire les pertes liées au stockage (Mémento de l'agronome, 2002).

I.2. La mineuse de l'épi de mil

Plusieurs insectes ont été inventoriés sur le mil, à travers des travaux de Risbec (1950), Appert (1957), et Gahukar (1984). Le nombre varie entre 81 et 150 espèces selon le lieu (Youm, 1995). Parmi ces espèces, celles appartenant à l'ordre des Lépidoptères restent de loin les plus redoutables, d'une part par les dégâts et d'autre part par leur omniprésence dans la région (Mbaye, 1993 ; Toure et Yehouénou, 1995). On peut citer : *H. albipunctella*, *Coniesta ignefusalis* Hampson (Pyralidae), *Sesamia calamistis* Hampson (Noctuidae), *Lema planifrons* Benth (Chrysomelidae). On peut retrouver également quelques Coléoptères comme *Psalydolytta flavicornis*, *P. vestita*, *P. fusca* (Meloidae), *Rhinyptia infuscata* (Rutelidae), et des acridiens de la famille des Acrididae (*Oedaleus senegalensis*, *Schistocerca gregaria*). Le défoliateur *L. planifrons*, intervient précocement et à chaque fois qu'une poche de sécheresse se présente au début du développement végétatif (Bal, 1992). Cependant la mineuse de l'épide mil *H. albipunctella*, compte tenu de son importance économique sera étudiée en détail dans ce chapitre.

Endémique en zone sahélienne, la mineuse de la chandelle du mil a été reconnue comme ravageur à partir de la sécheresse de 1972-1974 (Gahukar *et al.*, 1986 ; Mbaye, 1993 ; Toure et Yehouénou, 1995). C'est une espèce monophage qui n'a été jusque-là retrouvée que chez le mil. Elle mine l'épi selon un tracé en spirale caractéristique. Les jeunes larves perforent les glumes et dévorent l'intérieur des fleurs, tandis que celles plus âgées coupent les pédoncules floraux et laissent des déjections granuleuses blanchâtres (Vercambre, 1977 ; Gahukar *et al.*, 1986 ; Bal, 1992), empêchant ainsi la formation des grains ou en provoquant même leur chute.

I.2.1. Taxonomie et synonymie

Décrite dans la région ouest-africaine dès 1925 par Joannis, des espèces échantillonnées par Risbec en 1938 ont été conservées à l'IFAN sous le nom de *Timora sp.* (Mbaye, 1993).

Toujours selon Mbaye (1993), l'explosion des chenilles des chandelles ces dernières années est due à l'évolution de l'environnement qui a favorisé la coïncidence entre le stade phénologique de la plante et le stade nuisible du ravageur.

Insecte holométabole, *H. albipunctella* est un Lépidoptère appartenant à la famille des Noctuidae, et à la sous famille des Heliiothinae. Grâce à la révision taxonomique publiée par Matthews (1987), certaines espèces qui étaient rattachées aux genres *Raghuva* et *Canthylidea* appartiennent désormais au genre *Heliocheilus*. En dehors d'*H. albipunctella*, six autres espèces ont été recensées en Afrique (Marcus, 1987 in Zoromy, 1989). Les quatre espèces décrites par Laporte en 1977, comme appartenant au genre *Raghuva* (*R. vercambrei*, *R. bordati*, *R. graminivora brenieri*) sont rattachées au genre *Heliocheilus* (Nwanze *et al.*, 1995). Malgré qu'elle soit bien représentée en Afrique, *H. albipunctella* reste l'espèce dominante dans le Sahel.

I.2.2. Biologie et écologie

Environ 400 œufs sont pondus isolément, ou par lot de 3 à 4 œufs (N'diaye, 1985 in Zoromy, 1989), sur les soies de l'involucre de la fleur ou sous les étamines (Bhatnagar, 1986; Ndoye, 1988; Nwanze et Harris, 1992; Nwanze et Youm, 1995), mais également au niveau des pédoncules floraux ou sur le rachis (Sarr, 1997). Les œufs sont d'abord blancs, puis jaunissent ensuite. Environ 70% des œufs sont pondus pendant l'épiaison, 10% pendant la floraison femelle, 16% au cours de la floraison mâle, et le reste au cours du stade laiteux (Nwanze et Youm, 1995). Après 3-4 jours d'incubation (Nwanze et Youm, 1995), les œufs éclosent et donnent des larves qui se développent au dépend des pédoncules et des fleurs qu'elles sectionnent (Vercambre, 1977 ; Bal, 1992). Le développement larvaire dure entre 23 et 39 jours selon les auteurs (Bal, 1992 ; Nwanze et Harris, 1992; Nwanze et Youm, 1995). Les jeunes larves sont de couleur jaune à vert foncé avec deux bandes lumineuses de chaque côté. Elles prennent la couleur rose au stade de pré-nymphose. Les larves âgées se chrysalides dans le sol où elles restent en diapause puis en quiescencetoute la saison sèche (Vercambre, 1978 ; Gahukar, 1984).

Les populations de chrysalides sont abondantes dans les premiers centimètres du sol, notamment au niveau des radicelles des souches (Vercambre, 1977). La nymphose intervient 3-4 jours après la chute de la larve (Nwanze et Youm, 1995). Certains facteurs comme la pluviométrie, la température et la nature du sol influencent fortement la survie des chrysalides dans le sol (Gahukar *et al.*, 1986 ; Baldé, 1993 ; Nwanze *et al.*, 1995 ; Nwanze et Youm, 1995 ; Dabré, 2008). Les observations faites au champ durant la contre-saison montrent que la majorité des chrysalides formées se trouvent à des profondeurs de 15 à 25 cm dans les sols sableux et de 10 à 15 cm dans les sols lourds (argileux) (ibidem). Le taux de mortalité des chrysalides dû à la température est fonction de la profondeur à laquelle celles-ci sont logées (Baldé, 1993). Ainsi les larves en diapause dans la couche supérieure sont beaucoup plus exposées à l'action de la température qui peut atteindre 50-55°C entre avril et mai (Nwanze et Harris, 1992). C'est une des raisons de la faible présence de *H. albipunctella* dans la partie sud du pays, où les sols sont plus ou moins argileux. Il est pratiquement impossible de trouver des chrysalides dans ces sols à des profondeurs inférieures à 5 cm (Baldé, 1993).

L'émergence des adultes intervient généralement un mois après les premières fortes pluies estimées à un minimum de 10 mm, et le pic d'émergence intervient au mois d'août (Baldé, 1993 ; Nwanze et Youm, 1995). Cependant, un retard dans l'arrivée des pluies ou d'un début de saison sèche prolongée peut entraîner un changement ou une interruption de l'émergence des papillons (Nwanze et Harris, 1992). Aux mœurs nocturnes, les adultes mâles attirent leurs congénères grâce au « bourdonnement » produit par des vibrations de leurs ailes antérieures. Les femelles se rapprochent des mâles et l'accouplement intervient immédiatement (Green *et al.*, 1999). Toutes les

observations relatives à cette espèce montrent une seule génération (Bal, 1992). En cas de longue période de pluie, le vol des papillons peut s'étendre à plus d'un mois. Le cycle de développement est résumé dans la Figure 1.

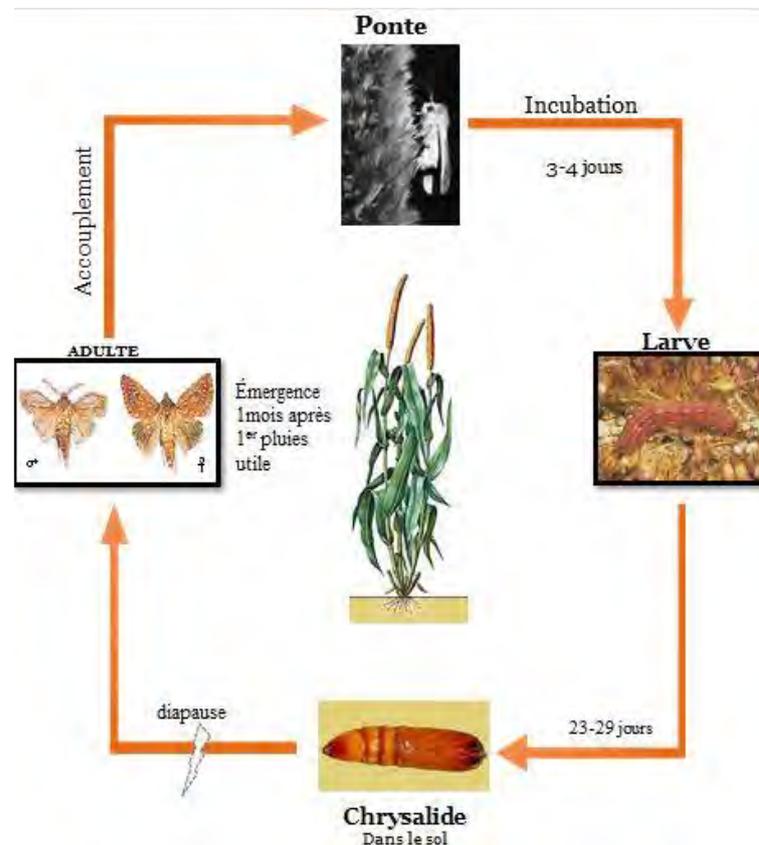


Figure 1: Cycle de développement de la mineuse de l'épi de mil.

La mineuse de l'épi se rencontre entre les isohyètes 100 et 700 mm couvrant entre autre le Burkina Faso, la Gambie, le Mali, la Mauritanie, le Niger, le sud du Nigéria, le Sénégal, et le nord du Togo (Voir *Annexe 3*). Au Sénégal, elle est présente dans toute la zone de culture du mil et constitue en particulier un des problèmes majeurs au sud du bassin arachidier (Ndoye *et al.*, 1984). Le niveau de dégâts dépend de la coïncidence entre le vol des papillons et l'épiaison et de la capacité des grains non détruits à compenser les pertes (Gahukar *et al.*, 1986; Mbaye, 1993 ; Nwanze et Youm, 1995 ; Sarr, 1997). Les pertes de rendement causées par les chenilles de *H. albipunctella* ont été estimées entre 13% et 85% en 1974-76 au Sénégal sur la variété Souna (Vercambre, 1978 ; Nwanze et Harris, 1992). Gahukar *et al.*, (1986), ont rapporté une variation considérable dans l'estimation de la perte de rendement pour *H. albipunctella* au Sénégal. En 1981 et 1982, les pertes ont varié de 3 à 82% dans le Sine Saloum et de 15 à 20% dans la région de Louga en 1982. Dans les zones touchées, les pertes moyennes occasionnées varient entre 10 et 20% (Bal, 1992). Certains auteurs rapportent des pertes de rendement qui diffèrent d'une variété à une autre (Bal, 1992 ; Nwanze et Harris, 1992) . Krall *et al.*, (1995) ont corrélé le pourcentage de perte en fonction du nombre de larves : les pertes étaient de 3,5% avec un niveau d'infestation de 1-2 larves par panicule, 20,7% pour 3-4 larves, 34,5% pour 5 larves par panicule et 46,8% pour >5 larves par panicule.

1.2.3. Plantes hôtes

H. albipunctella est inféodée au mil (*Pennisetum*). Un petit nombre des larves peut se trouver sur les épis de *Pennisetum violaceum* à la fin de l'hivernage (Vercambre, 1978 ; Gahukar *et al.*, 1986).

I.2.4. Ennemis naturels

Des études ont été menées par Bhatnagar (1986), dans le cadre d'un programme de lutte biologique dans différentes régions du Sénégal entre 1981 et 1986. Ces dernières ont permis de recenser plusieurs ennemis naturels indigènes d'*Heliocheilus albipunctella*. On constate que *H. albipunctella* est attaquée par une large gamme de parasitoïdes et de prédateurs, dont les espèces les plus importantes sont recensées dans le Tableau 1. Ces ennemis naturels constituent le facteur principal de mortalité naturelle de ce ravageur estimé à 77% par Sarr (1996). Parmi ceux-ci, les prédateurs sont dominants (Coccinellidae, Sphecidae et Reduviidae), en particulier les volants. Les parasitoïdes *Bracon hebetor* (Braconidae), *Trichogrammatoïdeasp.* (Trichogrammatoïdae) et *Copidosoma sp. nr. Trucatellum* (Encyrtidae) auraient un impact important (Sarr, 1996).

Bhatnagar (1986) et Gahukar *et al.*, (1986) rapportent un taux de parasitisme des œufs par des parasitoïdes du genre *Trichogrammatoïdea*, variant entre 9 et 75% au Sénégal de 1982 à 1984, tandis que Ndoye (1988), fait mention d'un taux moyen de parasitisme des œufs de 35% entre 1976 et 1985. Gahukar *et al.*, (1986) rapportent, quant à eux, un maximum de 48% d'œufs parasités et ils signalent *Litomastix sp.* (*Copidosoma sp.*) et *Trichogrammatoïdea sp.* D'après Bhatnagar (1986), *Trichogrammatoïdea sp.* parasite plus de 50% des œufs d'*H. albipunctella* sur le petit mil durant la période août/septembre 1985. Bal situe ce taux de parasitisme à 60% en 1988 à Bambey (Bal, 1993). Sarr (1996) estime que les auteurs précédemment cités ont surestimé ce taux de parasitisme. Il leur reproche d'avoir calculé la moyenne des taux de parasitisme au lieu d'un taux global qui tient compte des densités de l'hôte et de la durée d'incubation des œufs parasités.

Tableau 1 : Principaux ennemis naturels d'*Heliocheilus albipunctella* recensés (d'après Guevremont, 1983 ; Bhatnagar, 1986 ; Gahukar *et al.*, 1986 ; Ndoye 1988 ; Thiam et Valk, 1996)

Stade du mil	Stade d' <i>H. albipunctella</i>	Type	Espèces	Famille
Epiaison-maturation	Œufs	Parasitoïdes	<i>Trichogrammatoïdea sp.</i>	Trichogrammatoïdae
		Prédateurs	<i>Verania striata</i>	Coccinellidae
			<i>Orius sp.</i>	Anthocoridae
Maturation	Larves	Parasitoïdes	<i>Bracon hebetor</i>	Braconidae
			<i>Pristomerus sp</i>	Ichneumonidae
			<i>Apanteles sp</i>	Braconidae
			<i>Cardiochiles sahelensis</i>	Braconidae
			<i>Copidosoma sp.</i>	Ancyrtidae
			<i>Palexorista quadrizonula</i>	Tachinidae
			<i>Chalcididae sp</i>	-
		<i>Meteorus sp</i>	Ichneumonidae	
		<i>Goniphthalmus halli</i>	Tachinidae	
		<i>Hexameris (Nematodes)</i>	Mermitidae	
		Prédateurs	<i>Graphypterus obsoletus</i>	Carabidae
<i>Ectomocoris sp.</i>	Reduviidae			
<i>Delta sp.</i>	Eumenidae			
<i>Ammophila sp.</i>	Sphecidae			
<i>Chrysalides</i>	Parasitoïdes		<i>Thryridanthrax sp.</i>	Bombyliidae
		<i>Hadromanus sp</i>	Ichneumonidae	

Les œufs parasités ont une durée d'incubation plus longue (4,05 jours) que ceux qui sont sains (2,44 jours). Ainsi, la probabilité d'échantillonner un œuf parasité est plus élevée que celle d'un œuf sain. Avant correction, Sarr trouve un taux de parasitisme qui augmente régulièrement au cours du temps et passe de 30% à 81%. Après correction, il se retrouve avec un parasitisme estimé entre 21 et 72%, soit un résultat identique à celui trouvé par Thiam et Van der Valk (1996) dans une étude sur l'élaboration de la table de survie de *Heliocheilus albipunctella*.

En 1996, les études de Sarr dans une parcelle de mil à l'ISRA de Nioro du Rip, révèlent une fraction de perte des œufs située entre 49 et 72%, avec un taux global de 51% résultant de la prédation. Une Coccinelle *Verania striata* (Coccinellidae) dont les larves consomment les œufs, et *Orius sp.* (Anthocoridae) qui est un autre prédateur volant, dominent la prédation des œufs.

Le parasitisme des larves est dominé par *Bracon hebetor* Say. Cet Hyménoptère de la famille des Braconidae, est un ectoparasitoïde cosmopolite, grégaire et non diapausant des larves âgées de *H. albipunctella*. Il paralyse ces hôtes par injection de venin à travers la cuticule avec l'ovipositeur (Hagstrum et Smittle, 1978 in Heimpel *et al.*, 1997), et y dépose ses œufs. La femelle de *B. Hebetor* peut également déposer ses œufs sur des hôtes probablement tués par d'autres parasitoïdes de la même espèce (Dioulla, 2009). Les larves issues des œufs, vont se nourrir du cadavre jusqu'à nymphose après tissage d'un cocon blanc dans la galerie de l'épi. Bhatnagar (1986) a trouvé un taux de parasitisme qui variait entre 4% et 16%. Youm et Gilstrap, (1993), estime ce taux à 6% lors des études qui ont été menées en 1986 et 1987 au Niger. Le taux de mortalité due à *B. hebetor* observé pendant les échantillonnages est le plus élevé parmi les parasitoïdes, mais toujours plus faible que le taux de prédation (Sarr, 1997). *Cardiochiles sahelensis* endoparasitoïde des jeunes larves est responsable de 17% de mortalité des larves d'*H. albipunctella* à Nioro du Rip lors de la campagne agricole de 1985 (Bhatnagar, 1986). D'après Bhatnagar (1986), ce dernier survit et se multiplie sur les larves de Noctuelle du genre *Heliothis* (Noctuidae) en association avec *Acanthospermum hispidum* (Asterales : Asteraceae), niébé et maïs avant de se transférer sur les larves de premiers stades de la chenille mineuse de l'épisur le petit mil à Nioro. Un autre endoparasitoïde idiobiotique grégaire, *Copidosoma sp.* attaque les œufs et se développe en polyembryonies au niveau des larves qu'il tue et momifie au moment de leur nymphose. Il est très actif pendant la phase d'épiaison-floraison (Gahukar *et al.*, 1986 ; Sarr, 1997). Youm et Gilstrap (1993) évaluent le taux de parasitisme de *Copidosoma sp* entre 0 et 3%. D'après Sarr (1996), il aurait une incidence de 6,6% de la mortalité des larves de derniers stades.

La prédation est dominée par celle des insectes volants, qui prévaut sur la prédation totale (61 à 80% contre 22 à 59%). Parmi les prédateurs cités dans le tableau 1, la guêpe *Ammophila sp.* (Sphecidae), qui remplit son nid de larves d'*H. albipunctella* est la plus importante (Tableau 1).

I.2.5. Méthodes de lutte

Plusieurs méthodes sont disponibles pour lutter contre la mineuse de l'épi de mil, parmi lesquelles on peut citer : la lutte culturale et la lutte biologique.

I.2.5.1. Contrôle cultural

Le contrôle du ravageur à travers des méthodes culturales repose sur un même principe, à savoir rendre défavorable l'environnement et l'habitat des ravageurs. Elle constitue de loin la méthode la plus accessible et la plus économique pour les petits paysans. Une bonne utilisation de ces méthodes implique une bonne connaissance de la bio-écologie des insectes ciblés.

- Labour et gestion des résidus de culture

Le labour de fin de saison est utilisé efficacement pour lutter contre la mineuse de l'épi, dont la larve de dernier stade entre en diapause dans le sol. Un labour profond de 30 cm effectué à la fin de

la saison pluvieuse détruit presque la totalité des chrysalides diapausantes car elles sont exposées à la dessiccation, aux prédateurs (oiseaux notamment) et parfois à l'écrasement des mottes (Gahukar *et al.*, 1986). Nwanze et Youm (1995), rapportent d'après les travaux de terrain effectué au Niger, une réduction de plus de 50% de la survie des larves diapausantes, et une forte mortalité des chrysalides dans des profondeurs de 10 cm. L'efficacité de cette méthode est cependant limitée par l'érosion éolienne et l'évaporation qui en découlent pendant la saison sèche (Youm, 2000).

- Date de semis

Il a été remarqué que le semis des variétés à cycle court et moyen avec deux semaines de retard évite la coïncidence du pic de vol des papillons avec l'épiaison du mil (Gahukar *et al.*, 1986). Cependant, la pluviosité étant instable et imprévisible, les paysans ne prennent en aucun cas le risque de ne pas semer tôt, car les semis tardifs se traduisent souvent par des pertes de rendements, même sans attaque de ravageurs.

- Application d'engrais

L'engrais azoté influence significativement la hauteur et le bon développement des plantes et les bons épis qui en résultent sont relativement moins attaqués par la mineuse.

I.2.5.2. Lutte Biologique

Parmi les méthodes de lutte contre les insectes ravageurs de culture, la lutte biologique constitue une perspective prometteuse (Payne *et al.*, 2011). Les résultats d'études conduites au Sénégal de 1982 à 1985 montrent que le Braconidae *B. hebetor* est efficace contre *H. albipunctella* (Bhatnagar, 1986). Dans cette étude, le taux de parasitisme des larves a atteint 64%. Plus récemment, des initiatives comme le CCRP (Collaborative Crop Research Program) en association avec l'ICRISAT (International Crop Research Institute for the Semi-Arid Tropics), ont financé des programmes de lutte contre la mineuse de chandelle de mil dans trois pays Africains : Niger, Mali et Burkina Faso. Ces programmes de luttent reposent essentiellement sur des lâchers inoculatifs de *B. hebetor*. D'après les rapports d'activité de 2006 à 2008, les lâchers de *B. hebetor* ont fortement contribué à l'amélioration de la production du mil des parcelles concernées. Des taux de mortalité de plus de 80% des larves de la mineuse ont été observés, ce qui a permis une réduction de la longueur des mines sur les épis. D'après leurs estimations, un dispositif de lâcher de 15 sacs de jute contenant des adultes de *B. hebetor* peut couvrir jusqu'à un rayon de 5 km. L'élevage en masse est fait à partir d'un dispositif comprenant un sac de jute 15cm x 25cm contenant 500g de mil, 50 larves de *Corcyra cephalonica* et cinq (5) femelles de *Braconhebetor*, pouvant libérer jusqu'à plus de 2000 adultes. Cependant, le parasitisme dû à ce Braconidae a été enregistré principalement en fin saison (Bhatnagar 1986; Gahukar *et al.*, 1986; Bal 1992; Bhatnagar, 1993). Par conséquent, *B. Hebetor* est efficace pour tuer les larves de derniers stades, mais ne permet pas d'éviter les dégâts causés par ces derniers (Baoua *et al.*, 2009). L'identification de nouveaux parasitoïdes pouvant intervenir plus précocement pour compléter la lutte biologique, comme *Trichogrammatoidea eldanae* (Hymenoptera, Trichogrammatidae) et *Telenomus isis* (Hymenoptera, Scelionidae) est prometteuse (Bal, 1993). *T. eldanae* est retenu pour les lâchers inondatifs, ceci en raison de la facilité de son élevage sur les œufs de *Corcyra cephalonica*. Un dispositif pour sa production en masse est actuellement développé à l'IITA (Baoua *et al.*, 2009). Bal (1993) obtient un taux moyen de parasitisme de 60,8% des œufs de *H. albipunctella* par *Trichogrammatoidea sp.*, à partir d'échantillon d'œufs prélevés à Bambey, un taux qu'il juge relativement élevé comparé à ceux trouvés par Bhatnagar (1986), Gahukar *et al.*, (1986) et Ndoye (1988). Selon l'auteur, une vingtaine

d'adultes de *T. eldanae* peut être élevée sur 60 œufs de *C. cephalonica*. La même espèce est utilisée pour l'élevage de *B. hebetor* (Baoua *et al.*, 2008). Il s'est avéré également que les larves d'*Ephestia kuehniella* peuvent permettre à ce Braconidae de se reproduire durant la saison sèche (Bhatnagar, 1986 ; Diémé, 1986). Par conséquent, l'utilisation de ce parasitoïde avec *B. hebetor* peut réduire considérablement les populations de la mineuse. Nwanze et Youm ont observé des adultes de *B. hebetor*, parasitoïde des larves de *H. albipunctella* et *Helicoverpa armigera*; en agrégation dans les feuillages de l'arbre *Acacia albida* (Nwanze et Youm, 1995). Cette découverte faite par Nwanze et Youm attire toute notre attention sur l'importance que peut revêtir les parcs à *Faidherbia albida* pour optimiser les capacités du contrôle biologique assuré par ce parasitoïde.

Les Systèmes agroforestiers par de leurs structures complexes peuvent contribuer à augmenter l'efficacité de la lutte biologique en offrant aux populations d'ennemis naturels des ressources (nourritures, abris, hôtes alternatives, etc.). Il est important donc de mettre en œuvre un ensemble varié de lutte intégrée pour concevoir un développement durable des agrosystèmes.

I.3. Systèmes Agro-Forestiers

I.3.1. Définition

D'après Nair (1993), le mot « agroforestry » ou agroforesterie, a fait son apparition pour la première fois dans la littérature scientifique en 1977. Le concept est né d'un constat fait par Bene *et al.*, (1977), qui dans leur rapport, montre que pour sauver les forêts tropicales, il faut prendre en compte les pratiques des populations vivant à proximité et donner la priorité aux systèmes de production intégrant la foresterie, l'agriculture et l'élevage. Le terme « agroforesterie » est proposé pour illustrer cet enjeu. La définition qui en est donnée est la suivante : « **Un système de gestion durable du sol qui augmente la production totale, associe des cultures agricoles, des arbres, des plantes forestières et / ou des animaux simultanément ou en séquence, et met en œuvre des pratiques de gestion qui sont compatibles avec la culture des populations locales** ».

I.3.2. Situation et intérêt des SAF en Afrique de l'ouest

Les parcs agroforestiers de l'Afrique de l'Ouest semi-aride et du Sahel sont des systèmes traditionnels dans lesquels des arbres de valeur poussant spontanément sont protégés et entretenus sur des terres de culture et de pâture (Bayala, 2010). Les services fournis par l'arbre en milieu agricole sont nombreux: amélioration de la production en qualité et quantité, production de bois d'œuvre et énergie, le contrôle du cycle et de la qualité de l'eau, augmentation de la biodiversité, réduction des intrants, protection des cultures et du sol, régulation du climat à travers le contrôle des émissions de gaz à effet de serres et du stockage de carbone au-dessous et au-dessus du sol, etc. (Buttoud 1994; Peltier, 1996; AFAF, 2011; Liniger *et al.*, 2011).

De nombreuses espèces locales réputées constituent une source de nourriture et de sécurité alimentaire pour les habitants et le bétail. Elles protègent et enrichissent les sols. Les principales espèces d'arbres dans le bassin arachidier sont : le baobab (*Adansonia digitata*), le tamarinier (*Tamarindus indica*), *Faidherbia albida*, le karité (*Vitellaria paradoxa*), et le néré (*Parkia biglobosa*), *Piliostigma reticulatum* et *Guiera senegalensis*.

- Caractéristiques des parcs à *Faidherbia albida*

Le rendement des cultures augmente sous et autour des arbres, surtout sous *Faidherbia albida* (Peltier, 1996 ; Bayala, 2009). Originaire d'Afrique, il a amélioré la production de mil et de sorgho au Niger avec 160 arbres à l'hectare.

Pour le Mali et le Malawi, de bons rendements avec 70 *F. albida*/hectare (Agbogba, cours Ecologie 2013) sont obtenus. A l'inverse des autres arbres, *Acacia albida* perd ses feuilles riches en azote au début de la saison des pluies. Il reste au repos pendant toute la période de croissance des cultures et n'entre donc en compétition avec les cultures ni pour la lumière, ni pour les nutriments. Grâce à l'accumulation d'azote dans ses feuilles, le *F. albida* fournit de l'engrais disponible gratuitement sur plusieurs générations. Il contribue ainsi à limiter l'utilisation excessive d'intrants chimique. D'après Ondo et Mbow (2009), dans le bassin arachidier du Sénégal, les parcs à *F. albida* permettent de stocker le carbone dans la biomasse ligneuse (30,09 t.C/ha) (Ondo et Mbow, 2009).

- Intérêt des SAF dans la régulation des bioagresseurs

L'arbre revêt une importance capitale dans les systèmes de culture annuels ou pérennes, car sa présence peut avoir une répercussion sur l'état sanitaire de la culture. Les effets varient en fonction des espèces, bioagresseurs ou espèces bénéfiques, de leurs traits de vie, et des environnements physiques (Ratnadass *et al.*, 2012).

Les effets de l'intensification de l'agriculture à l'échelle locale (pratiques culturales) et celle du paysage (homogénéisation des terres) perturbent d'importants services écosystémiques (régulation naturelle) résultant de la perte de biodiversité dans les systèmes agroforestiers.

Cependant, mieux comprendre l'effet du paysage à travers les habitats semi-naturels sur la dynamique des insectes auxiliaires (prédateurs et parasitoïdes) permettra d'établir des stratégies de lutte biologique plus efficaces contre les ravageurs des cultures. Dans la littérature, l'effet du paysage sur la suppression des parasites des cultures qui augmente à l'échelle des zones semi-naturel, est bien démontré (Veres *et al.*, 2013). Par exemple, les études de Chaplin-Kramer et compagnie sur le puceron du chou (*Brevicoryne brassicae*), ont montré que la réduction proportionnelle de la densité des ravageurs augmente avec la complexité à la fois à l'échelle du paysage et à l'échelle locale des habitats semi-naturels (Chaplin-Kramer *et al.*, 2012). Rush et al, ont constaté que l'abondance des ravageurs (*Meligethes spp*) sur les 42 parcelles de colza étudiées, a été principalement déterminée par la proportion de prairies et de bois dans le paysage à des échelles allant de 1500 m à 2000 m (Rush *et al.*, 2013). Zaller et compagnie montrent que le parasitisme des charançons de tige (*Ceutorhynchus spp* ; Coleoptera: Curculionidae) de colza (*Brassica napus* L. var. *oleifera* Metzg, Brassicacées) par des guêpes (hyménoptères : Ichneumonidae), été négativement liée à la longueur de la bande en bordure de route au rayon de 250 m et la zone en friche herbeuse sur un rayon de 500 m (Zaller *et al.*, 2009).

Les habitats semi-naturels à l'échelle du paysage permettent donc de conserver la biodiversité dans les zones agroforestières. Le maintien dans le paysage environnant des zones de production d'ennemis naturels potentiels est fondamental pour assurer des programmes de lutte biologique efficace contre un ravageur. Ce maintien est régi à la fois par les pratiques agricoles locales et par la présence de ressources (nourritures, proies, hôtes alternatives) dans le paysage environnant (Monteiro *et al.*, 2013). Par exemple, certaine pratique à l'échelle locale, telle que l'application d'insecticide contre un ravageur donné, peut entraîner également l'élimination de nombreux prédateurs et parasitoïdes généralistes. Mais également la fragmentation des habitats semi-naturels à l'échelle du paysage, résultant de l'agrandissement des terres destinés à l'agriculture, réduit de manière considérable les parasitoïdes (richesse), entraînant ainsi une réduction de la mortalité des hôtes (ravageurs) (Kruess et Tschamtkke, 2000 in Tschamtkke *et al.*, 2005).

CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES

II.1 Zone et dispositif d'étude

- Présentation de la zone d'étude

Notre zone d'étude est une surface carrée de 20 km de côté centrée sur le village de Ndangalma. Elle présente une mosaïque de cultures de mil et d'arachide sous des parcs arborés à dominante de *Faidherbia albida* (Figure 2).

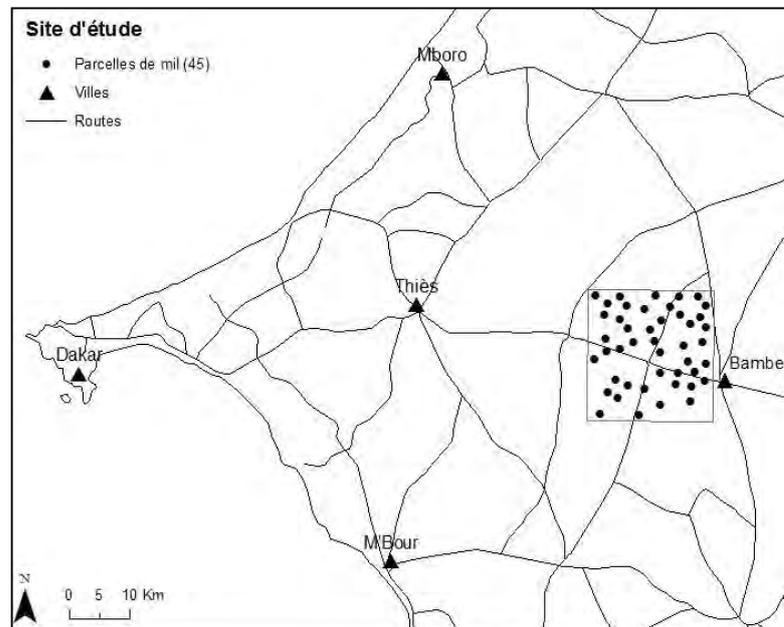


Figure 2 : Carte site d'étude Ndangalma-Bambey

La végétation est assez fournie, avec aussi de nombreux *Adansonia digitata*(Bombacaceae), *Balanites aegyptiaca*(Balanitaceae), des *Guiera senegalensis*(Combretaceae), *Piliostigma reticulum*(Fabaceae), *zizyphus mauritiana*(Rhamnaceae). Bambey bénéficie d'un climat tropical, plutôt sec, avec une saison sèche qui va de novembre à mai, et une saison des pluies qui va de juin à octobre avec un pic au mois d'août (voir *Annexe 3, 4 et 5*). Elle est située à la frontière entre le Sahel et l'Afrique purement tropicale, même si le climat devient de plus en plus sec.

Bambey est une ville du Sénégal située dans la région de Diourbel, sur la voie ferrée qui mène de Dakar à Tambacounda (Figure 1). Ce département compte 21 250 habitants en 2002, dominé surtout par des Sérères qui constituent la population d'origine et des Wolofs. Mais on trouve aussi des habitants appartenant à d'autres ethnies : Toucouleurs, Sarakholés, Peuls entre autres. L'activité dominante est l'agriculture avec plus de 95% de la population active, associée à l'élevage. La culture du mil et celle de l'arachide restent dominante dans cette zone. Le commerce représente également une part importante de l'activité locale.

- Sélection des parcelles d'observation

Le traitement préliminaire d'une image satellite très haute résolution de la zone a d'abord permis d'identifier la végétation arborée et de caractériser l'occupation du sol (Billand *et al.*, 2013). Un plan d'échantillonnage des parcelles (45 points) a été proposé à partir d'un gradient de composition en mil l'année précédente et de densité en arbres (en particulier *Faidherbia albida*) sur un rayon de 1 km autour de la parcelle (Figure 3).

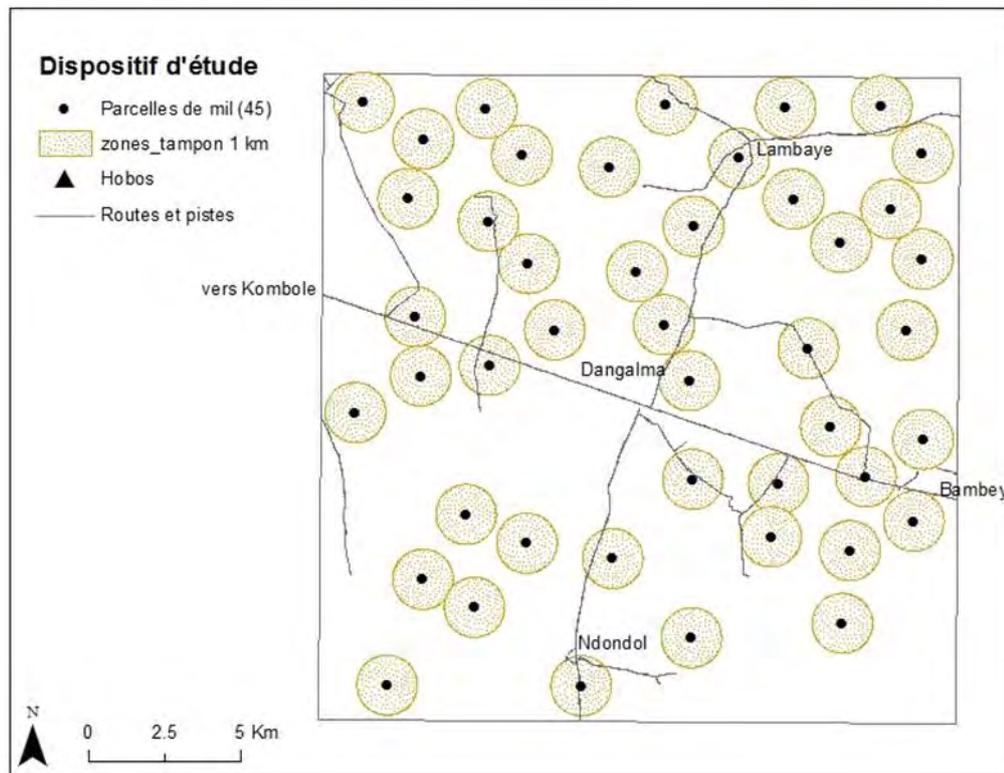


Figure 3 : Carte de distribution des 45 parcelles de mil.

Les parcelles de mil ont été sélectionnées sur le terrain à partir des points proposés dans le plan d'échantillonnage. Les coordonnées géographiques sont enregistrées au centre du champ grâce à un GPS (Global Positioning System) Nomad. Les données relatives au village, au nom du producteur et à ses coordonnées sont notées (voir *Annexe 7*).

II.2. Enquêtes agronomiques

Les données sur les pratiques culturales et l'état de la culture sont recueillies par des enquêtes agronomiques (voir *Annexe 8 et 9*). L'enquête concerne le précédent cultural de la parcelle, le type de sol et sa préparation, la nature de la fumure utilisée, les conditions de semis (semis à sec et date de semis), les semences (traitement et variété) mais également les éventuelles cultures associées, la date de démarrage, le type d'engrais, le nombre de sarclages, le recouvrement en mauvaises herbes et les traitements chimiques (herbicide ou insecticide).

II.3. Suivi des pontes et du parasitisme associé

II.3.1. Suivi au champ

Cinquante (50) épis par parcelle sont observés au début de l'épiaison. Les échantillons sont récoltés suivant des lignes qui traversent tout le champ. Sur chaque ligne, les épis sont tirés au hasard au niveau du poquet. Les poquets sur une même ligne sont répartis sur toute la longueur du champ. L'échantillonnage commence toujours un peu à l'intérieur du champ pour éviter les effets de bordure (Figure 4).

Le stade (initiation florale, floraison femelle et floraison mâle) et la longueur de l'épi sont enregistrés. Le nombre d'œufs est décompté selon un aller-retour sur la surface de l'épi à l'aide d'une pince fine ou d'une aiguille. Les femelles d'*H. albipunctella* pondent généralement leurs œufs entre les soies involucrales et la glume, ou sur le rachis de l'épi, donc il est nécessaire d'éplucher les épis pour mettre en évidence les œufs. Voir *Annexe 11*.

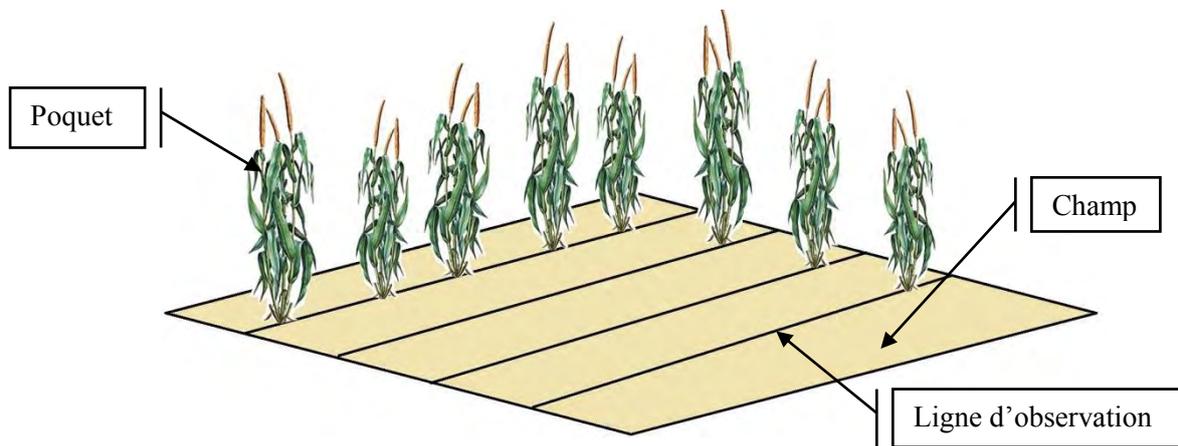


Figure 4 : Schéma illustratif du plan d'échantillonnage

II.3.2. Suivi au laboratoire

Pour étudier le taux de parasitisme associé au stade embryonnaire du ravageur, 15 à plus de 90 œufs sont collectés par parcelle. Au laboratoire, les œufs sont triés sous loupe binoculaire pour écarter les œufs abîmés. L'incubation des œufs se fait dans les mêmes piluliers à température ambiante. Au total, 2821 œufs ont été suivis pour l'ensemble des 45 parcelles. Après éclosion complète des larves, les piluliers sont mis dans le congélateur pendant 24 heures avant lecture sous loupe binoculaire. Après comptage (voir *Annexe 12*), les larves néonates ou les parasitoïdes issus des œufs sont conservés dans un tube Eppendorf (1,5 ml) contenant de l'alcool 95°.

II.4. Suivi des infestations larvaires et du parasitisme associé

II.4.1. Suivi au champ

L'observation des larves au champ a été effectuée 18 jours après le début de l'épiaison, selon le même plan d'échantillonnage et le même nombre d'épi que lors de l'observation des œufs. Le stade (laiteux, pâteux, ou mature) de l'épi et sa longueur sont notés. Le nombre de larves ainsi que leur état (vivante, morte, ou parasitée) sont notés ; en cas de dégâts visibles et en l'absence de larves, le nombre de galeries est enregistré. Le nombre de larves d'autres espèces de Lépidoptères comme *H. armigera* et *Massalia sp.* est également relevé.

II.4.2. Suivi au laboratoire

Un suivi de larves récoltées sur des épis infestés au niveau de chaque parcelle est effectué au laboratoire pour mesurer l'importance du parasitisme.

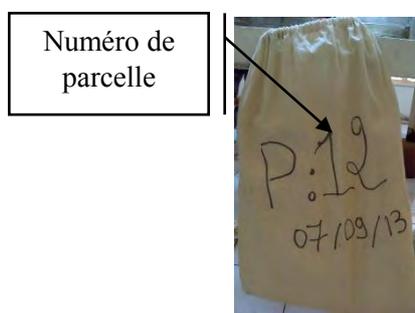


Figure 5a: Sac en tissu « Malikane »

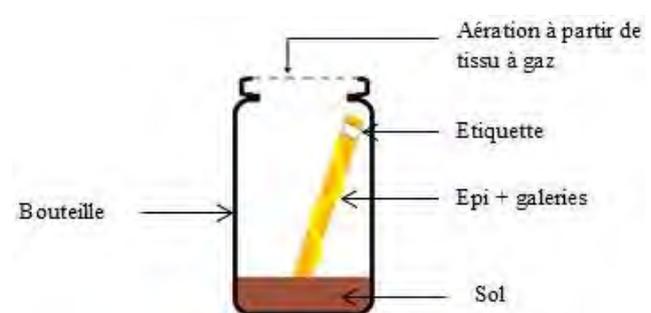


Figure 5b: Diapositif d'élevage de larve

Sur chaque parcelle d'observation, 10 épis infestés par des larves d'*H. albipunctella* sont collectés à l'aide d'un couteau et soigneusement gardés dans deux sacs en tissu Malikane (40*40cm). Figure 5a. Une fois au laboratoire, des larves sont prélevées et réparties sur quatre épis

ne contenant pas de larve (5 larves au maximum par épi). Les quatre épis sont conservés dans un bidon de 5 litres contenant un lit de sable pour permettre la nymphose des larves (Figure 5b). Pour l'aération, un morceau de tissu à gaz est placé sur les ouvertures des bouteilles et le tissu est maintenu à l'aide de deux élastiques. Les mailles du tissu doivent être très serrées pour empêcher les parasitoïdes de s'échapper. Le stade (L1, L2, L3, L4) et l'état (vivante, morte, parasité ou présence de cocon) initial de chaque larve sont notés sur la fiche labo larve (*Annexe 13*). Des suivis réguliers d'un minimum de 3 jours d'intervalle sont faits jusqu'à ce qu'il ne reste plus de larves sur les épis. Au cours de chaque suivie le stade et l'état de la larve sont notés. Au total, 1601 larves ont été suivies selon ce protocole.

Lors du diagnostic des épis, les larves mortes et parasitées sont isolées dans des piluliers avec le numéro de parcelle inscrit au-dessus. Tous les insectes volants se trouvant dans la bouteille sont récoltés grâce à un aspirateur mécanique. Ces insectes sont ensuite conservés dans des tubes Eppendorf avec de l'alcool avec le numéro de la parcelle et de la boîte, pour une identification ultérieure. Lorsqu'il n'y a plus de larves sur les épis, un tamisage du sol est réalisé pour récupérer les chrysalides, les éventuels cocons et les larves mortes. Les chrysalides sont récoltées une à une à l'aide d'une pince souple, et placées dans les boîtes de Pétri avec au préalable un morceau de papier filtre.

II.5. Estimation de la régulation naturelle des œufs et des larves

Notre dispositif comprend trois (3) modalités : épis infestés par des œufs et protégés à l'aide d'un manchon conçu à partir de mousseline transparente à maille fines (M), épis infestés par des œufs et non protégés (T1), et des épis non infestés (les œufs observés sont enlevés) et non protégés (T0). Figure 6. Les épis sont choisis au stade initiation florale. Des rubans de couleur sont attachés à la base des épis pour identifier les modalités.

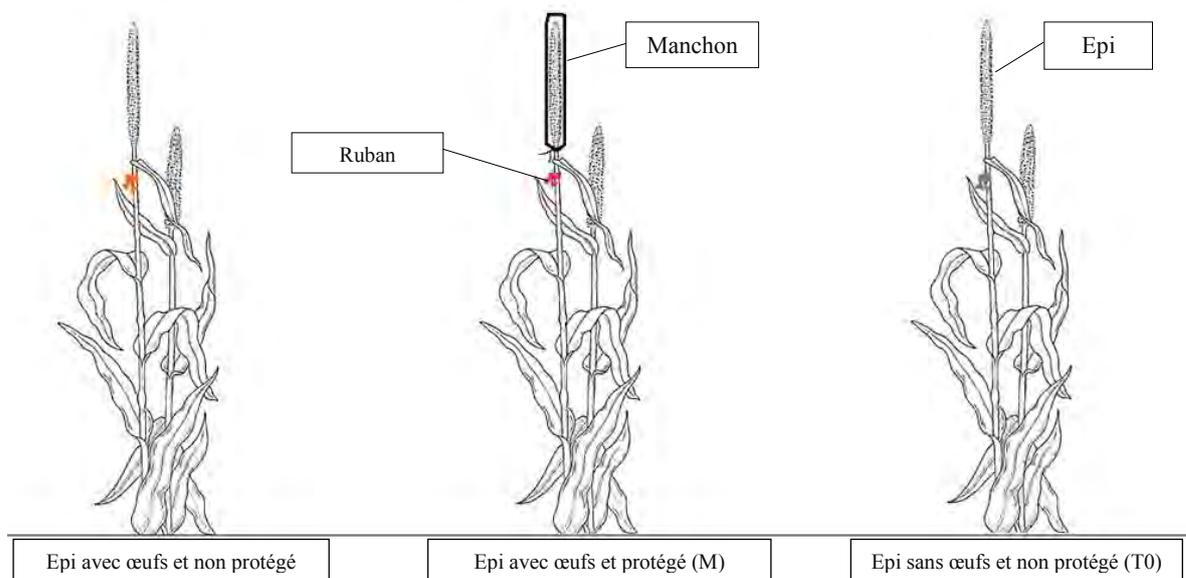


Figure 6: Dispositif d'étude de la régulation naturelle

Au total, 540 épis ont été suivis sur l'ensemble des 45 parcelles, avec un épi pour chaque modalité sur 2 ou 3 poquets voisins et 4 répétitions dans chaque parcelle. Un comptage du nombre de larves sur chaque épi a été réalisé 18 jours après la pose du manchon.

Pour pouvoir estimer l'impact du contrôle biologique, nous avons utilisé l'index BSI (Biocontrol Service Index) utilisé par Woltz *et al.*, (2012). Le BSI peut être défini comme étant la capacité des ennemis naturels à contrôler la population du ravageur (Chaplin-Kramer et Kremen, 2012). Les valeurs de BSI varient de 0 à 1, si BSI = 1 cela signifie une élimination totale du ravageur par contre si la valeur de BSI = 0 dans ce cas il y'a absence totale de contrôle.

Le BSI standard est calculé comme étant la différence entre le nombre d'individus dans la modalité M et la modalité T1, le tout divisé par le nombre d'individu dans la modalité M.

$$BSI = \frac{(M - T1)}{M} \quad (1)$$

Cet indice sous-estime souvent l'importance du contrôle biologique car il ne prend pas en compte l'occurrence de nouvelles pontes sur les épis non protégés. La mesure du nombre d'individus dans le témoin (T0) permet de corriger le BSI.

$$BSI_{\text{corrigé}}^1 = \frac{[M - (T1 - T0)]}{M} \quad (2)$$

Compte tenu de l'incertitude sur l'absence d'œuf sur les épis T0 au début de l'expérience, nous proposons de diviser par 3 le poids du coefficient de correction.

$$BSI_{\text{corrigé}}^2 = \frac{[M - (T1 - T0/3)]}{M} \quad (3)$$

II.6. Estimation des dommages

Pour estimer les dommages dus à la mineuse de l'épi, un calcul reposant sur l'étude des relations allométriques entre poids en grains et surface développée de l'épi d'une part et pourcentage de surface de galerie et pourcentage de perte en grains d'autre part, a été réalisé. On réalise pour cela, à l'aide d'un tournevis plat (6 mm de large), des galeries artificielles sur toute la longueur de 50 épis indemnes, de longueur et de diamètre connus. Le poids de grains de la galerie avant décorticage est pesé, ainsi que le poids de grains total de l'épi. Après décorticage au mortier par léger broyage, le poids de grains pour chaque épi est pesé à l'aide d'une balance de précision.

Un échantillonnage sur 24 poquets a aussi été effectué au niveau de chaque parcelle au stade de maturité de la culture. Sur chaque poquet, deux (2) épis sont choisis au hasard. Au niveau de chaque épi, on mesure la longueur, le diamètre, et la longueur des galeries. La perte de poids en grains d'un épi est estimée par la longueur des galeries que comporte l'épi. La largeur moyenne de 41 galeries a été calculée sur 10 épis infestés.

A partir de l'équation 1 (voir *Annexe 13*, figure 1) on pourra déterminer le poids de grains potentiel de l'épi :

- $Poids\ grain\ épi\ potentiel = y_1 = ax + b$; avec $x =$ surface de l'épi.

$$Surf\ dév\ épi = Longueur\ de\ l'épi \times Diamètre\ de\ l'épi$$

A partir de l'équation 2 (voir *Annexe 13*, figure 2) on pourra estimer le pourcentage de perte de grains :

- $Pourcentage\ perte\ grains\ estimé = y_2 = ax$; avec $x = \% \text{ surface de la galerie sur l'épi}$.

$$\% \text{ surface galerie} = \frac{Longueur\ totale\ des\ galeries \times Largeur\ moyenne\ des\ galerie}{surface\ de\ l'épi} \times 100$$

Analyses statistiques

Le test non paramétrique de Kruskal-Wallis a été effectué avec le logiciel **Megastat**, pour la comparaison des moyennes de nombre d'œuf en fonction des stades de floraison des épis d'une part, et la précocité des semis d'autre part. Le test de régression linéaire de Pearson a été utilisé pour vérifier la corrélation entre abondance d'œuf et larve sur les 45 parcelles.

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION

III. Résultats

III.1. Distribution spatiale des infestations (œufs)

Nous avons échantillonné 50 épis par parcelle au moment de l'épiaison (du 27 Août au 6 septembre 2013), soit au total 2250 épis sur l'ensemble des 45 parcelles. En moyenne, 40% des épis d'une parcelle sont infestés avec une variabilité importante entre parcelles 12-78% (Tableau 2.a, Annexe 14).

Tableau 2.a : Résultats sur les œufs d'*H. albipunctella*

	Minimum	Moyenne	Maximum	N
Nombre d'œufs par épi	0,18	1,77	5,26	2250
Fréquence d'épis infestés (%)	12	40	78	2250
Taux d'éclosion des œufs (%)	38	70	88	2821
Taux de parasitisme des œufs (%)	0	2	20	2821

Une préférence de ponte chez les femelles d'*Heliocheilus albipunctella* en fonction du stade de floraison des épis a été observée, avec une préférence significative ($H = 20,393$; $ddl = 2$; $P < 0,0001$) pour les épis à initiation florale et la floraison femelle (Figure 7, Annexe 22).

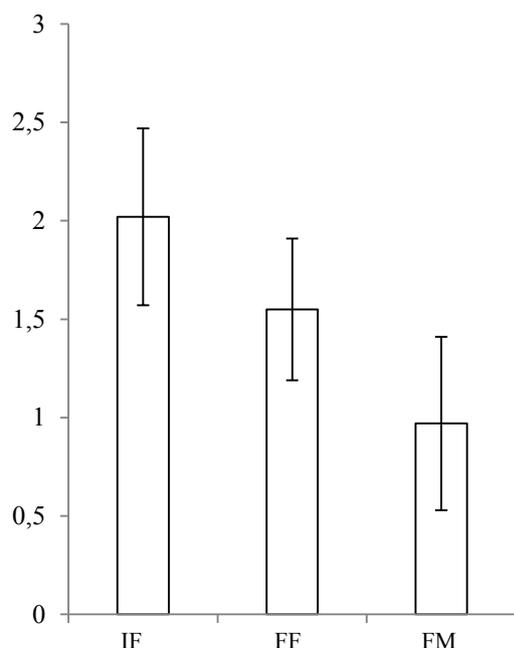


Tableau 2.b : valeurs statistiques associés à la moyenne du nombre d'œufs en fonction du stade de l'épi.

	IF	FF	FM
Moyenne	2,02	1,55	0,97
IC (95%)	0,45	0,36	0,44
N	1243	819	186

Légende :

Moyenne de nombre d'œuf

Erreur standard (IC)

Figure 7. Nombre moyen d'œufs par épi en fonction du stade de l'épi (IF : initiation florale. FF : floraison femelle. FM : floraison)

Il a été constaté également qu'il y a plus œufs (moyenne de nombre d'œuf = 2,4) sur les épis des parcelles à levée tardive (10 juillet) que sur les parcelles à levée précoce (3 juillet, moyenne de nombre d'œuf = 1,3). [$H = 6,265$; $ddl = 1$; $P = 0,0123$]. Voir *Annexe 22*. L'abondance d'œufs par épi varie beaucoup d'une parcelle à l'autre, avec une distribution agrégative ($M_s = 0,1$), (Figure 8).

M_s = Morisita standardized index

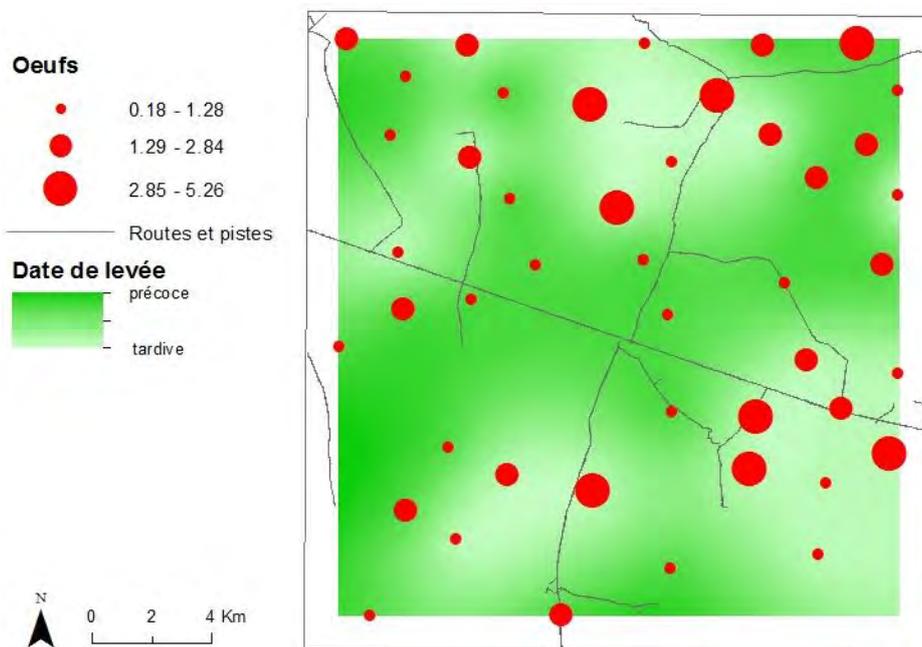


Figure 8 : Carte de distribution du nombre moyen d'œufs par épi par parcelle

III.2. Parasitisme des œufs

Un suivi de 2821 œufs (8-122 œufs par parcelle) a été réalisé au laboratoire pour déterminer le taux de parasitisme des œufs sur l'ensemble des 45 parcelles. Un taux d'éclosion de 70% en moyenne a été obtenu (38-88%). Le taux de parasitisme s'élève en moyenne à 2%, avec une forte variabilité entre parcelles (0-20%). Tableau 2.a ; Figure 9 ; *Annexe 15*. Les parasitoïdes adultes émergeant des œufs parasités appartiennent à la famille des *Trichogrammatidae*. Les échantillons collectés et conservés dans l'alcool 96° feront l'objet d'une identification par des spécialistes de l'UMR CBGP à Montpellier (France).

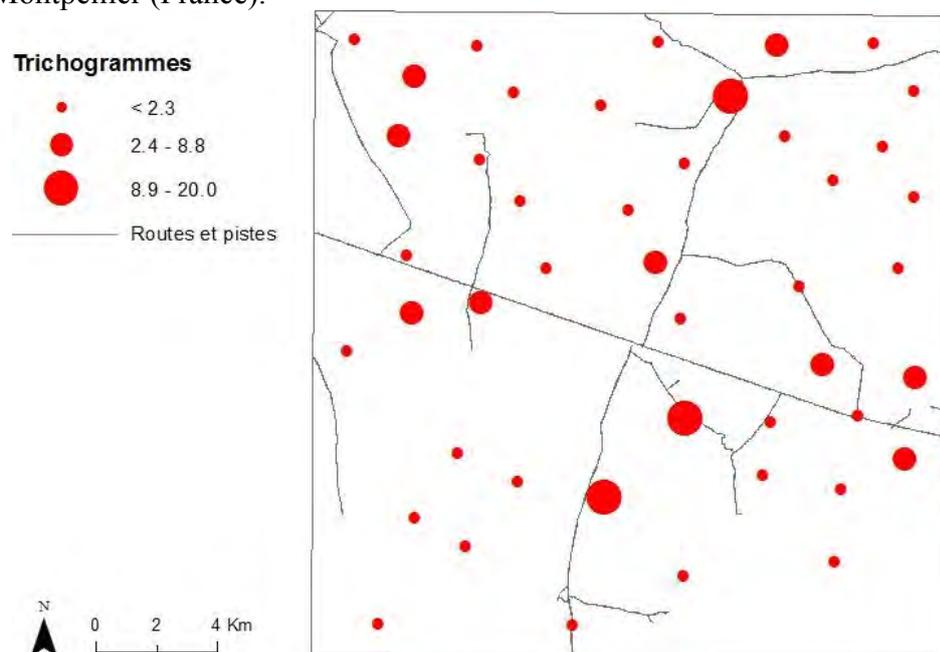


Figure 9 : Carte de distribution du taux de parasitisme des œufs.

III.3. Distribution spatiale des infestations (larves)

Comme pour les œufs, 50 épis par parcelle du stade laiteux au stade de maturité ont été observés pour la présence de larves. En moyenne, nous observons 1,6 larves par épi avec un minimum de 0,5 larve et un maximum de 3,7 larves par épi (Tableau 3). D'autres espèces de chenilles appartenant à la famille des Noctuidae ont été identifiées : *H. armigera* et *Massalia sp.* (Tableau 3).

Tableau 3 : Résultats sur l'abondance et la distribution des larves d'*H. albipunctella*

	Minimum	Moyenne	Maximum	N
Nombre de larves par épi	0,52	1,60	3,66	2250
Fréquence d'épis infestés (%)	50	76	94	2250
Nombre de larves d' <i>H. armigera</i> par épi	0	0,04	1	2250
Nombre de larves <i>Massalia sp.</i> par épi	0	0,04	1	2250

En moyenne, 76% des épis sont infestés, avec une forte variabilité entre parcelles (50-94%).
Figure 10 ; Annexe 16.

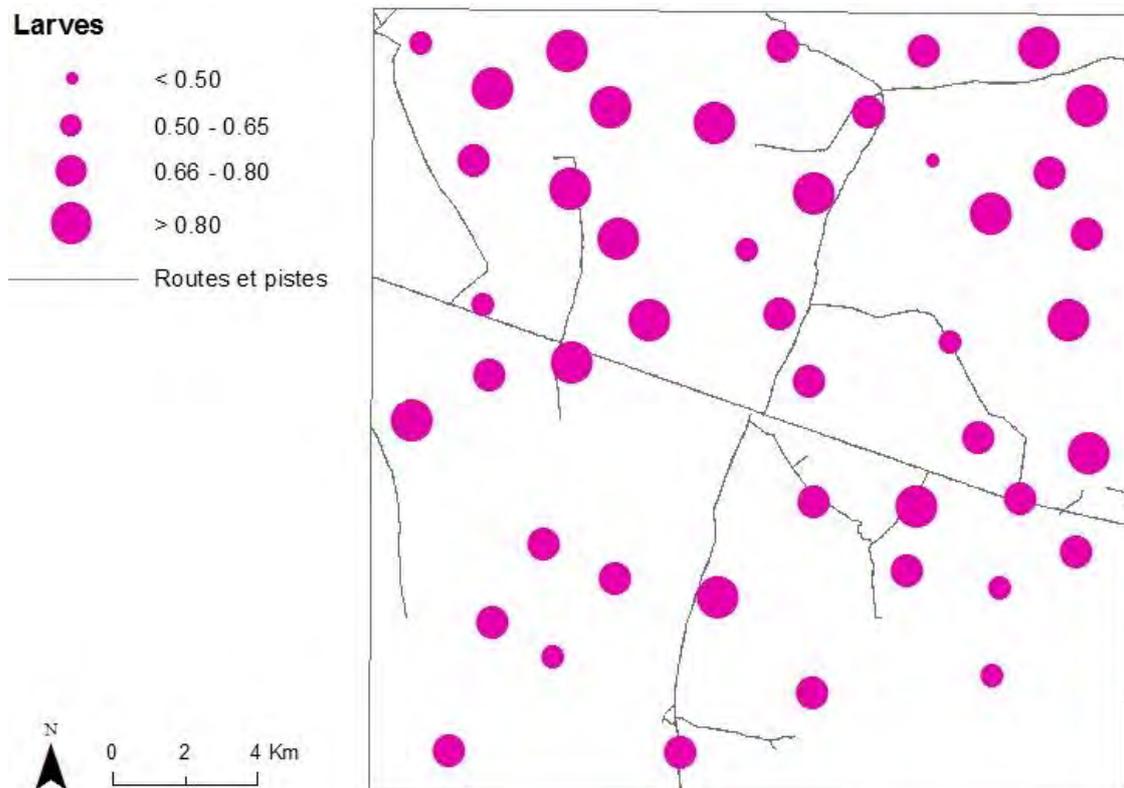


Figure 10 : Carte de répartition spatiale de la fréquence d'épis infestés par des larves d'*Heliocheilus albipunctella*.

Il existe une relation positive ($r = 0,4$) et significative ($P = 0,005$) entre l'abondance des œufs et celle en larves pour les parcelles observées (Figure 11, *Annexe 22*).

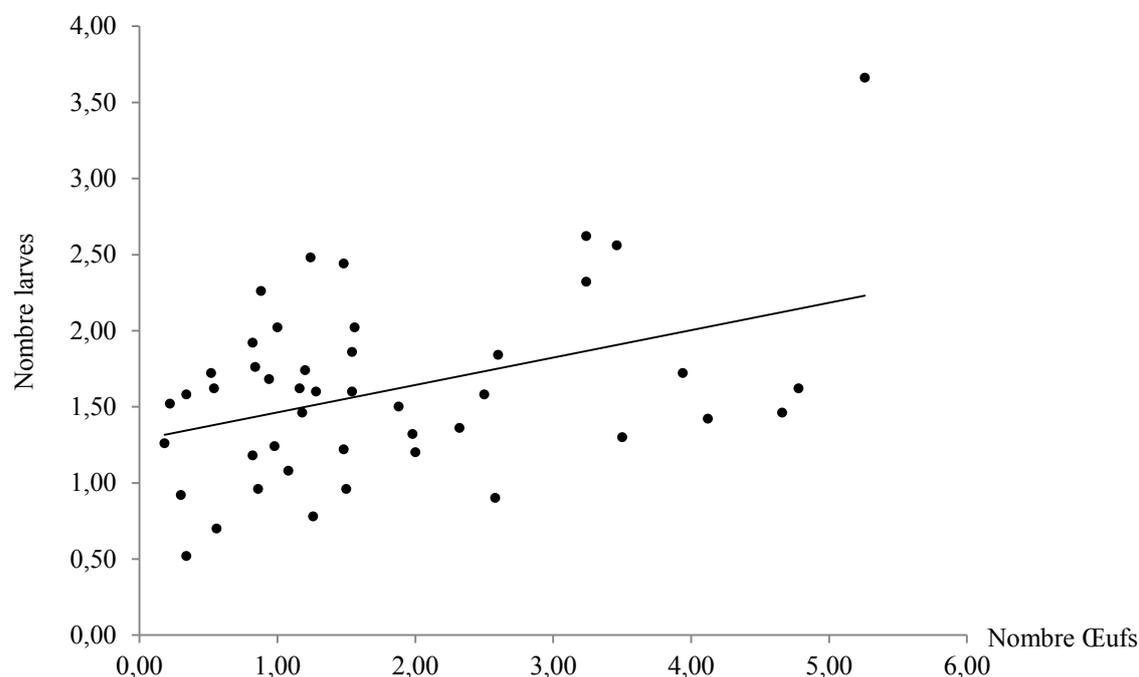


Figure 11 : Relation entre nombre d'œufs et larves d'*Heliocheilus albipunctella*

III.4. Parasitisme des larves

Pour déterminer le taux de parasitisme des larves, un suivi de 1601 larves a été effectué au laboratoire. Nous avons obtenu un taux de nymphose moyen de 34% pour les larves des 45 parcelles (5-58%). Sur les 506 chrysalides un taux d'éclosion des adultes d'environ 3% a été observé, 17 à 42 jours après le tamisage des chrysalides. Le taux de parasitisme moyen des larves s'élève à 19% et varie de 0% à 94% selon les parcelles (Figure 12 ; Tableau 4). Au total, 202 parasitoïdes, comprenant entre autres des Braconidae (*Bracon sp*, etc.), des Ichneumonidae et des morphotypes de familles non encore déterminées ont été recensés (voir *Annexe 17*). L'identification précise des espèces sera faite par des spécialistes de l'UMR CBGP de Montpellier.

Tableau 4 : Résultats sur le suivi des larves et l'étude du parasitisme.

	Minimum	Moyenne	Maximum	N
Taux de parasitisme estimé des larves (%)	0	19	94	1601
Taux de nymphose des larves (%)	5	34	58	506
Taux d'éclosion des adultes (%)	0	3	8	14

Le parasitisme des larves est réparti de manière très hétérogène d'une parcelle à une autre (Figure 12).

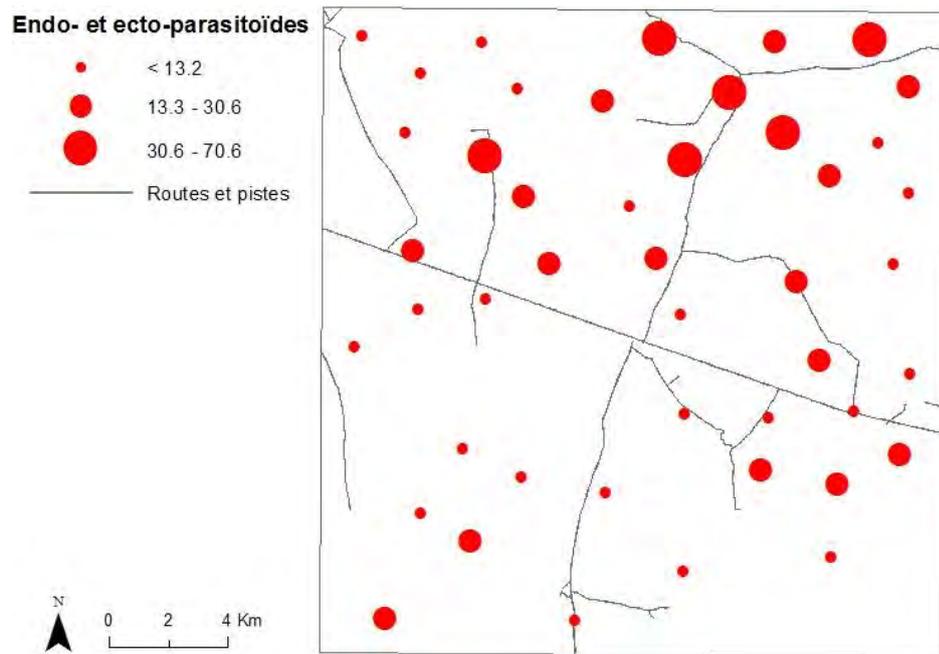


Figure 12 : Carte de distribution du taux de parasitisme des larves selon les parcelles.

III.5. Régulation naturelle

Pour déterminer l'importance de la régulation naturelle des œufs et des larves d'*H. albipunctella*, 12 épis par parcelle ont été suivis (4 épis pour chaque modalité). Des données exploitables ont été obtenues sur 44 parcelles. Le taux de la régulation naturelle s'élève en moyenne à 59% avec une variabilité entre parcelles de 0% à 99% (Figure 13, Table 5, *Annexe 18*).

Tableau 5 : Régulation naturelle BSI

	Minimum	Moyenne	Maximum	N
Taux de régulation naturelle (%)	0	59	99	45

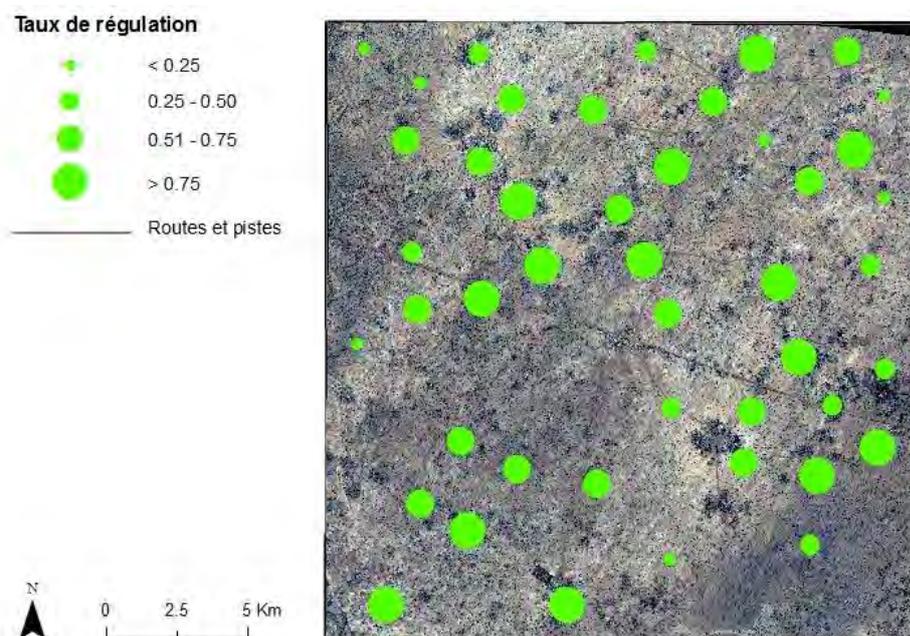


Figure 13 : Carte de distribution spatiale de la régulation naturelle (Biocontrol Service Index)

III.6. Dégâts et dommages dus à *Heliocheilus albipunctella*

En moyenne, 80% des épis d'une parcelle présentent au moins une galerie, avec un maximum de 96% d'épi (parcelle 2). (Tableau 6). Notre estimation des dommages basée sur les relations allométriques donne un pourcentage de perte moyen de 10,6% avec un minimum de 3,8% et un maximum 17,2% (Figure 14, *Annexe 20* et *21*). Le nombre de galeries sur un épi varie de 1 à 11, et la longueur totale des galeries va de 1 à 44 cm (Tableau 6). Les dégâts sont légèrement supérieurs au niveau des parcelles à levée tardive.

Tableau 6 : Données sur les dégâts et dommages.

	Minimum	Moyenne	Maximum	N
Moyenne nombre d'épis attequés	48	80	96	2160
Perte en grain (%)	3,8	10,6	17,2	2160
Nombre de galeries par épi	1	2	11	2160
Longueur de galeries par épi (cm)	1	9,37	44	2160

La perte en graines dû à la chenille mineuse de l'épi de mil peut varier considérablement entre parcelle dans la zone d'étude (Figure 14).

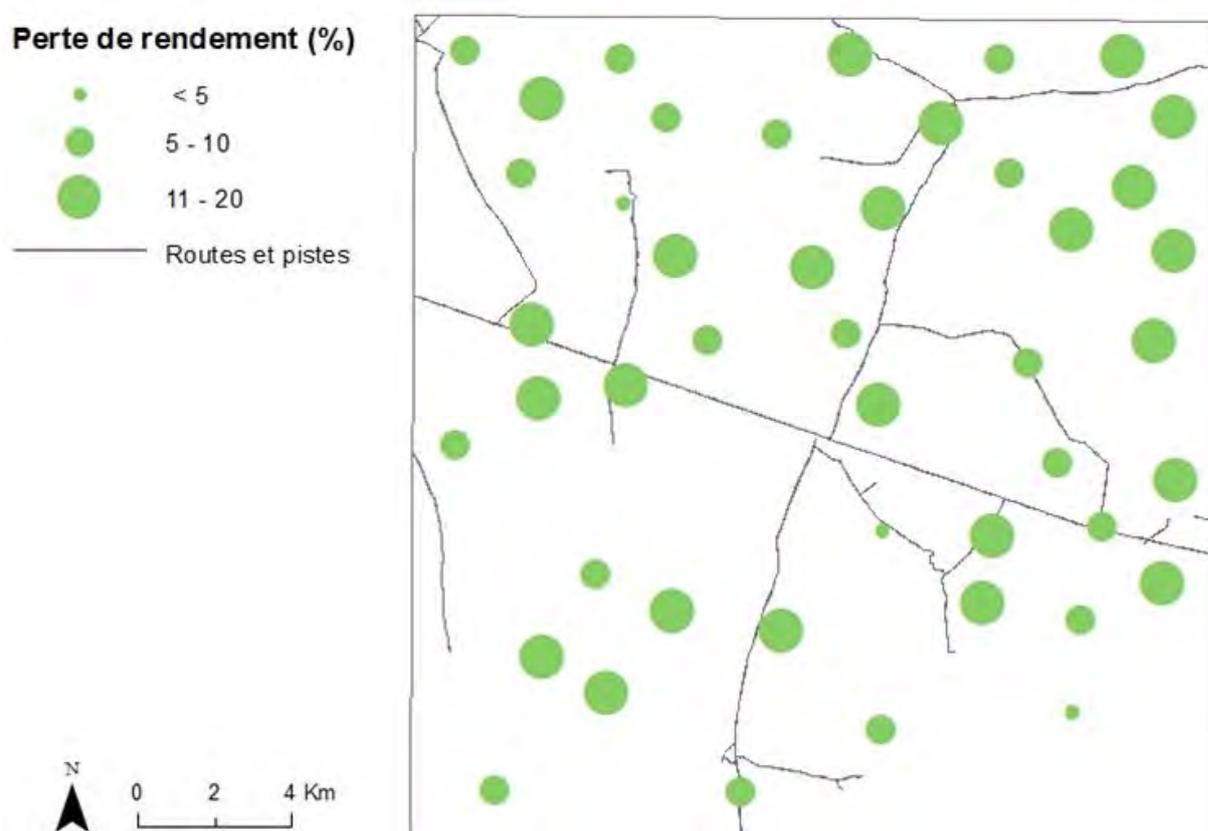


Figure 14 : Carte de distribution spatiale des moyennes de perte en grains (%).

VI. DISCUSSION

Abondance et distribution du ravageur

Les taux d'infestation enregistrés confirment l'importance globale du ravageur *H. albipunctella* dans la zone d'étude. Cependant, la distribution des infestations dans la zone montre une certaine hétérogénéité entre parcelles, probablement liée à la variabilité de facteurs abiotiques tels que la pluviométrie, la nature du sol, ou biotiques tels que la régulation naturelle et le comportement de dispersion du ravageur. Compte tenu des résultats et des observations faites au champ, la ponte des femelles d' *H. albipunctella* est significativement influencée par le stade des épis, avec une préférence pour les épis à l'initiation florale (IF), comme montré par Nwanze et Youm (1993). Ceci confirme en quelque sorte l'importance de la coïncidence entre stade phénologique favorable de la plante et pic de densité du ravageur avancé par plusieurs auteurs (Gahukar *et al.*, 1986 ; Mbaye, 1993 ; Nwanze et Youm, 1993 ; Sarr, 1996). Aucun œuf n'a été enregistré au-delà de la période de floraison de l'épi, contrairement à ce qui est rapporté par Nwanze et Youm (1993), qui ont pu collecter des œufs pendant le stade laitex (2,5%). Le principe selon lequel les semis précoces sont plus attaqués, comme le prétendent certains auteurs (Gahukar, 1988 ; Youm et Gilstrap, 1993), n'est pas confirmé. D'après nos résultats, il s'avère que les semis tardifs enregistrent les plus forts taux d'infestation. Ceci peut être dû à un décalage du pic d'émergence des adultes, qui intervenait généralement au mois d'août, causé par un retard des pluies constaté dans la zone (fin Juin, voir *Annexe 4*), ou bien à une concentration des ressources sur les quelques parcelles levées tardivement. Nwanze et Harris (1992), avaient mentionné qu'un retard dans l'arrivée des pluies ou d'un début de saison sèche prolongée peut entraîner un changement ou une interruption de l'émergence des papillons. Une seconde année d'étude sera nécessaire pour confirmer la validité de ces observations. Les cas d'émergence d'adultes observés (3%) montrent qu'une partie de la population de chrysalides n'entre pas en diapause.

Dans l'ensemble, le niveau d'infestation ovo-larvaire est très important dans notre zone d'étude. Cependant les fortes variances notées entre parcelles attirent toute notre attention sur les facteurs agissant sur l'abondance et la distribution du ravageur à l'échelle du paysage.

Régulation naturelle (BSI)

Un taux de parasitisme de 2% dû aux *Trichogrammatoïdae sp.* a été obtenu à partir des œufs collectés au champ, avec un maximum de 20%. Force est de constater que le taux est très faible comparé à celui trouvé par Bal en 1993 à Bambey. Ce dernier enregistrait un taux de 60%, avec une augmentation à la fin du mois de septembre. Le faible taux de parasitisme associé au taux d'éclosion élevé (70%) peut permettre d'expliquer en partie les forts taux d'infestation en larves observés au champ. Le taux de parasitisme dû à *Bracon sp* (1,5%) est faible, mais proche de des 2,8% trouvés par Thiam et Van der Valk en 1995 à Nioro du Rip. Le parasitisme larvaire est dominé par des endoparasitoïdes appartenant à la famille des Ichneumonidae (7,14%), des Tachinidae (5,2%) et des espèces en cours de détermination (4,6%). Les endoparasitoïdes peuvent contribuer à réduire la population résiduelle, qui est à l'origine de l'infestation de l'année suivante. La méthode adoptée ici pour l'estimation du parasitisme des larves n'est pas optimale car elle ne permet pas de connaître exactement le parasitisme associé à chaque larve prise individuellement. Par exemple, pour le cas de *Bracon sp*, plusieurs individus de ce parasitoïde peuvent se développer sur une seule larve d'*H. albipunctella*. Néanmoins, cette méthode nous a surtout permis d'avoir une idée sur les quelques espèces parasitoïdes présentes dans la zone. Nous envisageons de mettre au point une méthode d'élevage individuel des larves sur un milieu synthétique.

Les résultats obtenus mettent en évidence un véritable potentiel de régulation naturelle du ravageur dans la zone. L'importance de l'impact de la régulation naturelle observé (59%), comparé au faible taux de parasitisme obtenu, montre l'importance probable des prédateurs dans la régulation du ravageur. La variabilité considérable enregistrée entre parcelles porte toute son importance sur une bonne connaissance des facteurs qui sont à l'origine de cette régulation à l'échelle locale et à celle du paysage. Le rôle de la végétation naturelle environnante de la parcelle, et en particulier la densité d'*Acacia albida* comme habitat potentiel et source de nourriture pour les adultes de *Bracon hebetor* a été relevé par (Nwanze et Youm, 1995). La suite du travail consistera essentiellement à étudier les relations entre abondance du ravageur, régulation naturelle et composition et configuration du paysage.

Domages dus à la mineuse de l'épi

Le pourcentage de perte en grains est estimé à 10%, et varie entre 4% et 17%. Ce résultat obtenu à partir de relations allométriques, est en adéquation avec la relation établie par Krall *et al.*, (1993) entre pourcentage de perte et nombre de larves par épi (Chapitre I.2.2). Nos résultats cadrent aussi avec les données publiées sur l'estimation des dégâts causés par la chenille mineuse de l'épi (Gahukar *et al.*, 1986 ; Bal, 1992). Ce taux de 10% est relativement faible, comparé au pourcentage d'épi attaqués qui s'élève en moyenne à 80%. Une deuxième année d'étude sera nécessaire pour pouvoir mesurer l'importance des dommages à la culture.

La bonne pluviométrie enregistré dans la zone (2001 mm entre juin-octobre, *Annexe 4*) durant cette campagne, peut permettre d'une part d'expliquer ce taux, car les dégâts dû à la chenille mineuse de l'épi dépend également de la pluviométrie et de la capacité des grains non-détruite à compenser les pertes (Gahukar *et al.*, 1986 ; Mbaye, 1993 ; Nwanze et Youm, 1993 ; Sarr, 1996).

Conclusion et Perspectives

H. albipunctella est le ravageur le plus important du mil. Par un synchronisme quasi-parfait d'une partie de son cycle de développement avec celui de la plante, et par son omniprésence au cours des années, il occasionne d'importants dégâts sur cette culture.

A l'issue de cette étude, on constate que la mineuse *Heliocheilus albipunctella* est fortement présente dans notre zone d'étude (Bambey). Avec un taux moyen d'infestation en œufs (40%) et en larves (76%) très importants et une forte variabilité d'une parcelle à une autre (œufs : 12-78% ; larves : 50-94%). Par contre le parasitisme associé au stade embryonnaire (Taux moyen de 2%) et larvaire (Taux moyen de 19%) est relativement faible. L'importance de la régulation naturelle (Taux moyen de 59%) montre l'impact probable des prédateurs et des facteurs abiotiques sur la régulation du ravageur. La bonne pluviométrie enregistrée dans la zone a probablement une influence sur les pertes en graines (pourcentage moyen de 10,6%) dû aux dégâts causés par la chenille mineuse de l'épi de mil.

L'étude de ce ravageur demande à être poursuivie pour mieux comprendre les facteurs qui régissent l'importance des infestations au champ, et en particulier l'action des ennemis naturels, en vue d'une éventuelle optimisation des services de régulation biologique. Parmi ces facteurs, le paysage qui sera notre principale échelle d'étude, mais aussi les pratiques culturales et l'état de la culture, nous permettront de mieux comprendre les mécanismes impliqués, pour valoriser les services écosystémiques dans les systèmes agroforestiers et améliorer la régulation des populations du ravageur.

En perspective, il sera intéressant de :

- déterminer la densité de mil de l'année précédente et de l'année en cours dans l'environnement des parcelles d'observation, ou si l'on suppose que les parcelles qui ont connu un précédent de mil, sont susceptibles d'être les plus infestées que les parcelles dont le précédent est autre que du mil.
- déterminer l'impact de la densité en arbres à l'échelle locale et à l'échelle du paysage, sur l'abondance relative du ravageur et de ses ennemis naturels.
- déterminer la période d'émergence et de vol des adultes et les facteurs impliqués (pluviométrie). Ceci permettra d'éviter la coïncidence entre pic d'émergence des adultes et la phase phénologique favorable de la plante.
- mettre au point un milieu artificiel et des conditions pour l'élevage en routine d'*H. albipunctella* et conduire des bioessais pour étudier certains paramètres biologiques (longévité et la fécondité) des femelles.
- conduire des expérimentations (en serre, station et en milieu paysan) pour mesurer l'importance relative des prédateurs et des parasitoïdes dans la régulation des populations d'œufs et de larves (tests d'exclusion).

Références Bibliographiques

1. **Ba, B. 2008.** *Agriculture et sécurité alimentaire au Sénégal*. Editions Le Harmattan, Paris : Ba, 2008. 122 p. ISBN 2296201229.
2. **Bal, A. B. 1992.** Les principaux insectes du mil au Sénégal: importance du parasitisme et méthodes de lutte [*Acigona ignefusalis*, *Heliocheilus albipunctella*]. In : *Séminaire sur la Lutte Intégrée contre les Ennemis des Cultures Vivrières dans le Sahel. 4-9 Jan 1990. Bamako (Mali)*. Centre de Versailles-Grignon: INRA, 1992. 13–23.
3. **Bal, Amadou B. 1993.** Etude du parasitisme naturel d'*Heliocheilus albipunctella* de Joannis (Lepidoptera: Noctuidae) par *Trichogrammatoidea sp.* (Hymenoptère: Trichogrammatidae) à Bambeby. *Insect Science and its Application*, 1993, 14: 221–221.
4. **Baldé, M. 1993.** Synthèse des acquis de la recherche entomologique sur les cultures céréalières et légumineuses. N° 236. Bambeby (SENEGAL) : CNRA, 1993, 22p.
5. **Baoua, B. I., Ba, M. N., N'diaye, M., Dabire-Binso, C., Tamo, M., et Aminou, A. M. 2009.** « Projet de gestion intégrée de la mineuse de l'épi du mil ». BILAN 2006/2008. Mali, Burkina Faso, Niger: IER/INERA/INRAN/ITA, 2009, 28p.
6. **Baoua, B. I., Ba, M., et N'diaye, N. 2008.** Rapport d'activité projet de gestion intégrée de la mineuse de l'épi du mil. Rapport d'activité. Burkina Faso, Mali, Niger: IER/INERA/INRAN/ITA, 2008, 29p.
7. **Bene, J. G., H. W. Beall, et Albert Côté. 1977.** *Trees, food, and people: land management in the tropics*. illustré. International Development Research Centre, 1977, 52 p. ISBN 0889361215, 9780889361218.
8. **Bezançon G., Pham J.-L. 2004.** *Ressources génétiques des mils en Afrique de l'ouest*. IRD. France : Bezançon G., Pham J.-L., 2004, 192 p. ISBN 2-7099-1544-8.
9. **Bezançon, G., Renno, J-F., et Kumar, K. A. 1997.** Le mil . In Charrier, M. Jacquot, Serge Hamon, et D. Nicolas., *L'amélioration des plantes tropicales*. Repères, Montpellier: CIRAD, 1977, 457–482.
10. **Bhatnagar, V.S. 1982.** Programme de lutte biologique. Rapport d'activité d'hivernage (juin-octobre 1982. Nioro du Rip (Sénégal): CILSS/ISRA, 1982, 28 p.
11. **Bhatnagar, V. S. 1986.** Projet CILSS de lutte intégrée contre les ravageurs des cultures vivrières dans le sahel. Rapport d'activité No. 625-0928-85. Nioro Rip: DPV/ISRA/FAO/USAID, 1986, 67 p.
12. **Billand, C. 2013.** Systèmes agroforestiers en zone sèche et régulation naturelle des insectes ravageurs des cultures. Analyse paysagère à partir d'une image satellite pour la mise au point d'un protocole d'échantillonnage dans la région de Dangalma au Sénégal. Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'ingénieur Agroparistech. 164 p.
13. **Burel, F., C. Lavigne, E.J.P. Marshall, A.C. Moonen, A. Ouin, et S.L. Poggio. 2013.** Landscape ecology and biodiversity in agricultural landscapes. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2013, 166 : 1–2.
14. **Buttoud, G. 1994.** Les systèmes agroforestiers dans les pays en développement: quels enseignements. *Revue Forestière Française*, 1994, n° spécial, 152–164.
15. **Chaplin-Kramer, R., et Kremen, C. 2012.** Pest Control Experiments Show Benefits of Complexity at Landscape and Local Scales. *Ecological Applications* 22 (7): 1936–1948.

16. **Cissé, L. 1986.** Etude des effets d'apports de matière organique sur les bilans hydriques et minéraux et la production du mil et de l'arachide sur un sol sableux dégradé du Centre-Nord du Sénégal. (Thèse de doctorat). France : Institut National Polytechnique de Lorraine (INPL), 1986, 184 p.
17. **Clément, J.C, Bezançon, G., et G. Billard. 1993.** Prospections des mils cultivés et des mils sauvages de l'Afrique de l'Ouest. In: *Le mil en Afrique*, S. Hamon. Paris, France : ORSTOM. 9–20.
18. **Dabré, E. E. 2008.** Inventaire et importance des insectes ravageurs du mil, *Pennisetum glaucum* (Leek) R. Br. en zone sahélienne du Burkina Faso. mémoire d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur du développement rural. Agronomie. Burkina Faso: Université polytechnique de Bobo-Dioulasso, 2008, 69 p.
19. **Diémé, E. 1986.** Etude biologique au laboratoire de *Bracon hebetor* Say (Hymenoptera : Braconidae), parasite de *Raghuva albipunctella* Joannis (Lepidoptera: Noctuidae) et d'*Ephestia Kuehniella* Zell (Lepidoptera: Phycitidae) au Sénégal. Rapport d'étude. Sous-programme de lutte biologique, Projet de CLSS de lutte intégrée. Nioro du Rip: CNRA, 29 p.
20. **Dioulla, H. 2009.** Préférence de site de ponte de *Habrobracon hebetor* Say (Hymenoptera, Braconidae), ectoparasitoïde de *Heliocheilus albipunctella* de Joannis (Lepidoptera, Noctuidae) au laboratoire de la Direction de la Protection des Végétaux. Mémoire d'étude pour l'obtention du Diplôme de Technicien du développement rural. Niamey : IPDRD de KOLLO, 30 p.
21. **Gahukar, R. T. 1984.** Insect Pests of pearl millet in West Africa: a review. *International Journal of Pest Management*, 30 (2): 142–147.
22. **Gahukar, R. T., Bos, W. S., Bhatnagar V. S., Diémé, E., & Fytizas, E. 1986.** Acquis récents en entomologie du mil au Sénégal. Document présenté à la réunion d'évaluation du programme MIT. Sénégal : ISRA, 28 p.
23. **Green, S. V., Owusu, E. O., Youm, O., & David R. 1999.** Mating Behaviour of the Millet Headminer Moth, *Heliocheilus albipunctella* (de Joannis) (Lepidoptera: Noctuidae: Heliothinae). *APPENDIX 3*, 1–13.
24. **Harmand, J-M., & Seghieri, J. 2012.** Recherche de compromis entre productions et services écosystémiques fournis par les systèmes agroforestiers. Montpellier: CIRAD / IRD / AIRD, 35 p.
25. **Heimpel, G. E., Antolin, M. F., Franqui, R. A., and Strand, M. R. 1997.** Reproductive Isolation and Genetic Variation between Two "Strains" of *Bracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae). *Biological Control*, 9: 149–156.
26. **Krall, S., O. Youm, et S. Kogo. 1995.** Panicle insect pest damage and yield loss in pearl millet. In: K.F Nwanze et O. Youm., *Panicle Insect Pests of Sorghum and Pearl Millet: Proceedings of an International Consultative Workshop. 4-7 Oct. 1993, ICRISAT Sahelian Center, Niamey, Niger*. Indian: Patancheru 502 324, Andhra Pradesh, 135–145.
27. **Liniger, H.P., R. Mekdaschi Studer, C. Hauert and M. Gurtner. 2011.** *La pratique de la gestion durable des terres. Directives et bonnes pratiques en Afrique subsaharienne*. TerrAfrica, Panorama mondial des approches et technologies de conservation (WOCAT) et Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). 2011, 241 p. ISBN 978-92-5-000000-0.
28. **Mbaye, D. F. 1993.** Contraintes phytosanitaires du mil dans le sahel: Etat des connaissances et perspectives. Séminaire International sur la lutte intégrée. Niamey (Niger) : CLSS, 13 p.

29. **Mémento de l'agronome. 2002.***Mémento de l'agronome*. Editions Quae, France : Ministère des affaires Etrangères, 1702 p. ISBN 9782876145221.
30. **Milleville, P. 2007.***Une agronomie à l'œuvre : Pratiques paysannes dans les campagnes du Sud*. Editions Quae. Versailles, Paris: Editions Arguments, 243 p.
31. **Monteiro, L. B., Lavigne, C., Ricci, B., Franck, P., Toubon, J-F., et Sauphanor, B. 2013.** Predation of codling moth eggs is affected by pest management practices at orchard and landscape levels. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 166: 86–93.
32. **Nair, P. K. R. 1993.** *An Introduction to Agroforestry*. illustré. Springer, 1993, 499 p.
33. **Ndiaye, A., Fofana, A., Ndiaye, M., Mbaye, D. F., Sène, M., Mbaye, I., et Chantereau, J. 2005.** *Bilan de la recherche agricole et agroalimentaire au Sénégal 1964-2004*. France : Ministre français des Affaires étrangères. Dakar: ISRA.513p.
34. **Ndoye, M. 1988.** Biologie et écologie de deux lépidoptères *Amsacta moloneyi* Druce (Lepidoptera, Arctiidae) et *Heliocheilus albipunctella* (de Joannis) (Lepidoptera : Noctuidae) ravageurs du mil au Sénégal. ANRT.
35. **Ndoye, M. 2001.** Importance des équipements de transformation primaire et secondaire dans la promotion des produits à base de sorgho : expérience de l'ITA du Sénégal. In : Atelier technique du Réseau ouest et centre africain de recherchesur le sorgho.
36. **Ndoye, M., R.T. Gahukar, A. G. Carson, C. J. Selvaraj, D. F. Mbaye, et Souleymane Diallo. 1984.** « Les problèmes phytosanitaires du mil dans le sahel. » In, 79-95. Niamey, NIGER.
37. **Nwanze, K. F., Youm, O. 1995.***Panicle insect pests of sorghum and pearl millet: proceedings of an international consultative workshop, 4-7 Oct. 1993, ICRISAT Sahelian Center, Niamey, Niger*. Patancheru 502 324, Andhra Pradesh: Indian. Nwanze, K. F, Youm, O., 1995, 316 p. ISBN 92-9066-285-9.
38. **Nwanze, K. F., et K. M. Harris. 1992.**Insect pests of pearl millet in West Africa. *Review of Agriculture Entomology*, 80 (12): 1132–1155.
39. **Nwanze, K. F., M. C. Klaij, et R H. Markham. 1995.**Possibilities for integrated management of millet earhead caterpillar, *Heliocheilus albipunctella*. In: K.F Nwanze et O. Youm., *Panicle Insect Pests of Sorghum and Pearl Millet: Proceedings of an International Consultative Workshop. 4-7 Oct. 1993, ICRISAT Sahelian Center, Niamey, Niger*. Indian: Patancheru 502 324, Andhra Pradesh, 263–271.
40. **Ondo, O., et Mbow, C. 2009.**Contribution à la Connaissance des Stocks de Carbone et de l'Adaptation des Populations aux Changements Climatiques: Cas du Parc agroforestier à *Faidherbia albida* (Del.) A. Chev. de la Communauté Rurale de Touba Toul (Sénégal).
41. **Payne, W., Tapsoba, H., Baoua, B. I., Ba, M. N., N'diaye, M., et Dabire-Binso, C. 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): 186–193. doi:10.3763/ijas.2010.0560.
42. **Peltier, R. 1996.***Parcs A Faidherbia*. Cirad-Forêt. Cahier scientifique n°12. Montpellier (France): Peltier, 297 p.
43. **Ratnadass, A., Fernandes, P., Avelino, J., et Habib, R. 2012.**Plant species diversity for sustainable management of crop pests and diseases in agroecosystems. *Agronomy for Sustainable Development* (32): 273–303.

44. **Rusch, A., M. Valantin-Morison, J.P. Sarthou, et J. Roger-Estrade. 2013.**Effect of crop management and landscape context on insect pest populations and crop damage. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 166: 118–125. doi:10.1016/j.agee.2011.05.004.
45. **SARR, 1997.** Détermination de l'impact potentiel des pesticides sur *H. albipunctella* mineuse de l'épi de mil à partir d'une méthode indirecte. L'étude de la table de survie. Projet GCP/SEN/04/NET : LOCUSTOX Ministère de l'agriculture Dakar (Sénégal), 37 p.
46. **Thiam, A., et van der Valk, H. 1996.** Impact potentiel d'insecticides sur la mortalité naturelle de la chenille mineuse de l'épi de mil (*Heliocheilus albipunctella*): une étude de la table de survie. Dakar: FAO.
47. **Toure, K., et A. Yehouénou. 1995.**Les insectes de l'épi de mil en Afrique de l'Ouest. In: K.F Nwanze et O. Youm., *Panicle Insect Pests of Sorghum and Pearl Millet: Proceedings of an International Consultative Workshop. 4-7 Oct. 1993, ICRISAT Sahelian Center, Niamey, Niger.* Indian: Patancheru 502 324, Andhra Pradesh, 39–47.
48. **Tscharntke, T., A.M. Klein, A. Kruess, I. Steffan-Dewenter, et C. Thies. 2005.**Landscape Perspectives on Agricultural Intensification and Biodiversity – Ecosystem Service Management. *Ecology Letters* 8: 857–74. doi: 10.1111/j.1461-0248.2005.00782.x.
49. **Van Duivenbooden N., & Cissé, L. 1989.**L'amélioration de l'alimentation hybride par de techniques culturales liées à l'interaction eau/fertilisation azotée. Rapport d'étude No. 89/0168, Nioro du Rip (Sénégal): ISRA/CABO. 107 p.
50. **Vercambre, B. 1977.**Les chenilles des chandelles (*Raghuva spp- Adisura sp*). Important nuisible du mil en zone sahélienne. Rapport d'étude CN 010248. Bambey-SENEGAL: ISRA, 26 p.
51. **Vercambre, B. 1978.** « *Raghuva spp. et Masalia sp.*, chenilles des chandelles du mil en zone sahélienne ». *Agronomie Tropicale* 33: 62–79.
52. **Veres, A., Petit, S., Conord, C., et Lavigne, C. 2013.**Does landscape composition affect pest abundance and their control by natural enemies? A review. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 166 (février 15): 110–117. doi:10.1016/j.agee.2011.05.027.
53. **Youm, O. 1995.** Bioecology of Scarab Beetle *Rhinyptia Infuscata* and Millet Head Miner *Heliocheilus Albipunctella*. In: K.F Nwanze et O. Youm., *Panicle Insect Pests of Sorghum and Pearl Millet: Proceedings of an International Consultative Workshop. 4-7 Oct. 1993, ICRISAT Sahelian Center, Niamey, Niger.* Indian: Patancheru 502 324, Andhra Pradesh, 135–145.
54. **Youm, O. 2000.**Approche participative d'évaluation des techniques pour l'augmentation de la production du mil et du sorgho au sahel. Rapport d'activité. Mali: ICRISAT/FIDA, 47 p.
55. **Youm, O., et Gilstrap, F. E. 1993.**Population dynamics and parasitism of *Coniesta* (= *Haimbachia*) *ignefusalis*, *Sesamia calamistis*, and *Heliocheilus albipunctella* in millet monoculture. *Insect Science and its Application* 14 (4): 419–426.
56. **Youm, O., K.M. Harris, K.F Nwanze, et ICRISAT. 1996.** *Coniesta ignefusalis*: The millet steam Borer. Patancheru, India : ICRISAT, 53 p. ISBN 9290662530.
57. **Zoromy, S. 1989.**Contribution à la mise en place d'un système efficace de capture et à la détermination du cycle de développement de la chenille mineuse des épis de mil (*Heliocheilus albipunctella* de Joannis). Mémoire d'étude pour l'obtention du Diplôme d'ingénieur du développement rural. Science Naturel/Agronomie. Université d'Ouagadougou, 37 p.

Annexes

Annexe 1 : Composition alimentaire du mil (Mémento de l'agronome, 2002)

Élément	Teneur (%)
Amidon	62,8 - 70,5
Protéine	5,8 - 20,9
Lipide	4,1 - 6,4
Cendre	1,1 - 2,5

Annexe 2 : Principales régions producteurs de mil (source FAO, 2001)

Région producteur	Superficie récolté 2001 (millions ha)	Rendement 2001 (t/ha)	Production 2001 (million tonnes)
<i>Asie du sud</i>	13,51	0,74	10,06
<i>Inde</i>	12,76	0,75	9,50
<i>Afrique</i>	20,36	0,65	13,33
<i>Nigéria</i>	5,91	10,32	6,10
<i>Niger</i>	5,30	0,41	2,20
<i>Soudan</i>	2,20	0,22	0,48
<i>Burkina</i>	1,15	0,63	0,72
<i>Sénégal</i>	1,10	0,58	0,63
<i>Mali</i>	1,05	0,76	0,80

Annexe 3 : Données pluviométrique durant la période Juin à octobre 2013 (Station météo du CNRA de Bambey).

Localité	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Total général
Lambaye	10	53	279	139	73	554
Bambey	11	159	303	160	56	688
Ndondol	20	83	416	189	51	759
Total général	41	295	998	487	180	2001

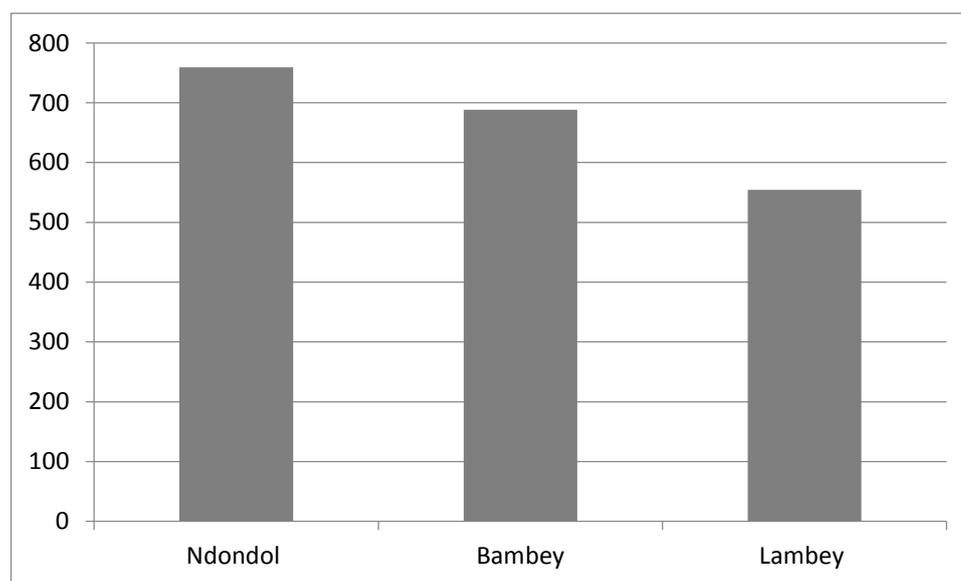


Figure 1: Variation et gradient de la pluviométrie du Nord au Sud (Ndondol-Lambaye) entre juin-octobre.

Annexe 4: Représentation graphique de la variation de la température et de l'humidité entre Juin-octobre dans la zone d'étude (Bambey).

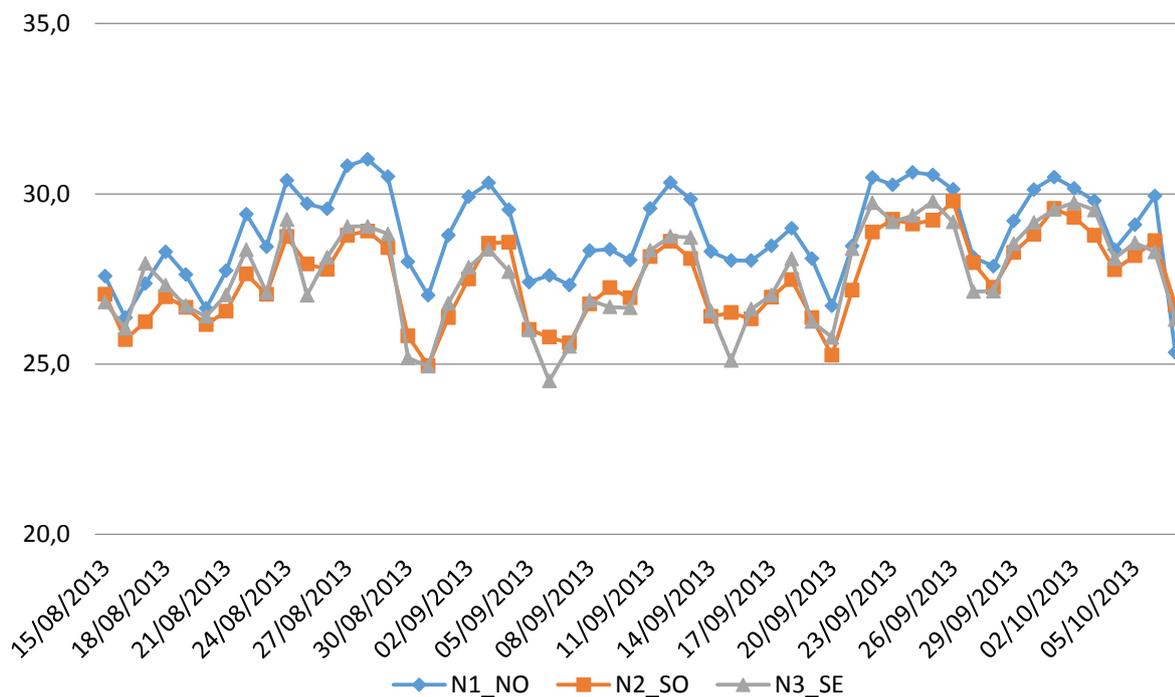


Figure 1 : Variation de la température dans la zone d'étude

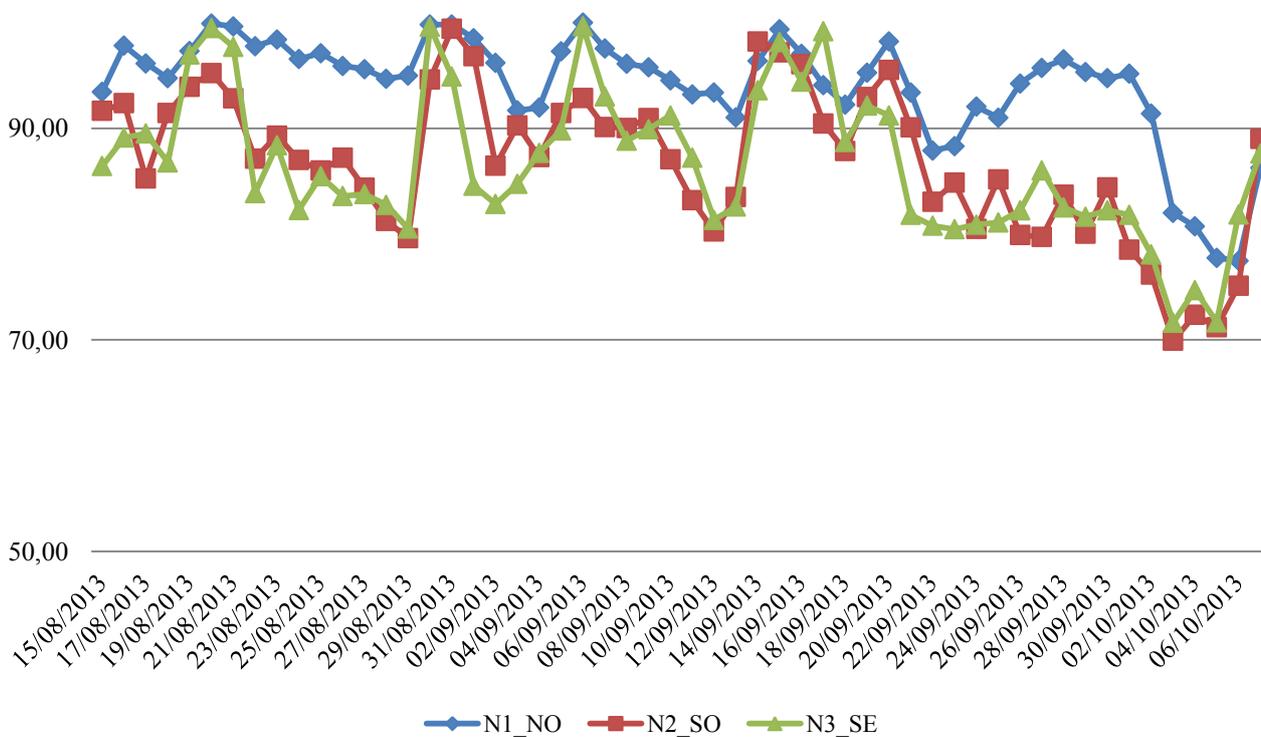


Figure 2 : Variation de l'humidité dans la zone d'étude.

Annexe 5 : Tableau des moyennes journalières de température (T°C) et de l'humidité (en pourcentage). (Données Hobo, 2013).

Température					Humidité				
Date	Lambaye	Bambey	Ndondol	T. Général	Date	Lambaye	Bambey	Ndondol	Total général
15/08/2013	27,6	27,1	26,8	27,2	15/08/2013	93,44	91,65	86,44	90,51
16/08/2013	26,4	25,7	26,1	26,0	16/08/2013	97,81	92,38	89,12	93,10
17/08/2013	27,4	26,2	28,0	27,2	17/08/2013	96,13	85,26	89,52	90,30
18/08/2013	28,3	27,0	27,3	27,5	18/08/2013	94,74	91,44	86,77	90,98
19/08/2013	27,6	26,7	26,7	27,0	19/08/2013	97,31	93,93	96,98	96,07
20/08/2013	26,6	26,2	26,4	26,4	20/08/2013	99,90	95,24	99,47	98,20
21/08/2013	27,7	26,6	27,0	27,1	21/08/2013	99,62	92,83	97,71	96,72
22/08/2013	29,4	27,6	28,4	28,5	22/08/2013	97,76	87,12	83,88	89,59
23/08/2013	28,4	27,0	27,1	27,5	23/08/2013	98,40	89,31	88,40	92,04
24/08/2013	30,4	28,7	29,3	29,5	24/08/2013	96,55	87,01	82,28	88,61
25/08/2013	29,7	27,9	27,0	28,2	25/08/2013	97,10	86,01	85,47	89,53
26/08/2013	29,6	27,8	28,1	28,5	26/08/2013	95,89	87,22	83,60	88,90
27/08/2013	30,8	28,8	29,0	29,5	27/08/2013	95,59	84,38	83,77	87,92
28/08/2013	31,0	28,9	29,0	29,7	28/08/2013	94,68	81,25	82,76	86,23
29/08/2013	30,5	28,4	28,8	29,2	29/08/2013	95,00	79,62	80,52	85,05
30/08/2013	28,0	25,8	25,2	26,3	30/08/2013	99,80	94,63	99,61	98,01
31/08/2013	27,0	25,0	24,9	25,6	31/08/2013	99,82	99,41	94,88	98,04
01/09/2013	28,8	26,4	26,8	27,3	01/09/2013	98,50	96,83	84,56	93,30
02/09/2013	29,9	27,5	27,8	28,4	02/09/2013	96,19	86,48	82,85	88,51
03/09/2013	30,3	28,6	28,4	29,1	03/09/2013	91,68	90,27	84,76	88,91
04/09/2013	29,5	28,6	27,7	28,6	04/09/2013	91,96	87,27	87,68	88,97
05/09/2013	27,4	26,0	26,0	26,5	05/09/2013	97,28	91,45	89,79	92,84
06/09/2013	27,6	25,8	24,5	26,0	06/09/2013	100,00	92,86	99,66	97,50
07/09/2013	27,3	25,6	25,5	26,2	07/09/2013	97,54	90,12	93,03	93,56
08/09/2013	28,3	26,8	26,9	27,3	08/09/2013	96,09	90,03	88,84	91,65
09/09/2013	28,4	27,2	26,7	27,4	09/09/2013	95,77	90,97	89,92	92,22
10/09/2013	28,1	26,9	26,7	27,2	10/09/2013	94,53	87,08	91,21	90,94
11/09/2013	29,6	28,2	28,3	28,7	11/09/2013	93,21	83,20	87,22	87,88
12/09/2013	30,3	28,6	28,8	29,2	12/09/2013	93,38	80,25	81,36	84,99
13/09/2013	29,8	28,1	28,7	28,9	13/09/2013	91,02	83,53	82,60	85,72
14/09/2013	28,3	26,4	26,6	27,1	14/09/2013	96,36	98,22	93,59	96,06
15/09/2013	28,0	26,5	25,1	26,6	15/09/2013	99,35	97,18	98,14	98,22
16/09/2013	28,0	26,3	26,6	27,0	16/09/2013	97,03	96,08	94,40	95,84
17/09/2013	28,5	27,0	27,0	27,5	17/09/2013	94,07	90,46	99,19	94,57
18/09/2013	29,0	27,5	28,1	28,2	18/09/2013	92,25	87,85	88,70	89,60
19/09/2013	28,1	26,4	26,3	26,9	19/09/2013	95,25	92,96	92,13	93,45
20/09/2013	26,7	25,3	25,8	25,9	20/09/2013	98,22	95,51	91,22	94,98
21/09/2013	28,5	27,2	28,4	28,0	21/09/2013	93,39	90,08	81,82	88,43
22/09/2013	30,5	28,9	29,7	29,7	22/09/2013	87,90	83,06	80,78	83,91
23/09/2013	30,3	29,2	29,2	29,6	23/09/2013	88,32	84,86	80,46	84,55
24/09/2013	30,6	29,1	29,4	29,7	24/09/2013	92,05	80,51	80,89	84,48
25/09/2013	30,6	29,2	29,8	29,9	25/09/2013	91,01	85,17	81,10	85,76
26/09/2013	30,1	29,8	29,2	29,7	26/09/2013	94,23	79,91	82,24	85,46
27/09/2013	28,1	28,0	27,1	27,7	27/09/2013	95,70	79,74	86,03	87,16
28/09/2013	27,9	27,3	27,1	27,4	28/09/2013	96,52	83,73	82,52	87,59
29/09/2013	29,2	28,3	28,5	28,7	29/09/2013	95,33	80,05	81,65	85,67
30/09/2013	30,1	28,8	29,2	29,4	30/09/2013	94,74	84,43	82,25	87,14
01/10/2013	30,5	29,6	29,5	29,9	01/10/2013	95,16	78,54	81,81	85,17
02/10/2013	30,2	29,3	29,7	29,7	02/10/2013	91,38	76,18	78,09	81,88
03/10/2013	29,8	28,8	29,5	29,4	03/10/2013	82,00	69,93	71,63	74,52
04/10/2013	28,4	27,8	28,1	28,1	04/10/2013	80,74	72,38	74,72	75,94
05/10/2013	29,1	28,2	28,6	28,6	05/10/2013	77,74	71,20	71,66	73,53
06/10/2013	29,9	28,6	28,3	29,0	06/10/2013	77,49	75,14	81,86	78,16
07/10/2013	25,3	26,7	26,3	26,3	07/10/2013	86,26	89,00	87,62	87,93
Total général	28,9	27,5	27,6	28,0	Total général	94,14	86,87	86,65	89,20

Annexe 6 : Fiche producteur

FICHE PRODUCTEURS					
N°pe	Village	Nom producteur	Ntel	CI	AUTRE
1	New rane bu MAK	Omar FAYE	76 744 24 21		
2	Lamabaye/Mbadianène	Alioune Sakher Dieng	76 666 41 01/76 123 23 92		
3	Mbouso Ndir	Serigne Mbaye NDIR	76 297 65 16		
4	Ndiassane bu Ndaw	Modou Dame TINE	77 084 70 02		Ngoyane FAYE
5	Mbambey/Réfane	Ablaye Serigne DIOUF	76 694 29 28		
6	Ndiarga	Mme. Maguette DIOP	76 121 26 11		
7	Ndondol	Ibra KA	77 416 42 91		
8	Réfane/Sindiane	Abdou YADE	76 859 86 21/76 559 78 30	1642 1983 00 140	
9	Lamabaye	Amy N'DIAYE/Mamadou FALL	77 345 69 43 /77 366 66 14	1 200 197 601 509	Numéro du fil

Annexe 7 : Fiche pratique

FICHE PRATIQUES -- MIL									
N° parcelle	Prepa_sol	Date_dema riage	Fumure	Engrais	Sarclages	Note_adve ntice 1	Note_adve ntice 2	Traits-herb ou insect	Autres
8	Nett simpl	10-août	OK	NO	2	20%	30%	NO	Bon stade
9	Nett_rato	15-août	OK	NO	2	5%	30%	NO	Bon stade
10	Nett_Brulis	15-août	NO	NO	2	12%	70%	NO	Bon stade
11	nett_Hilaire	15-août	OK	NO	2	5%	7.5%	NO	App_graine

Annexe 8 : Fiche parcelle

FICHE PARCELLES -- MIL								
N° parcelle	Precedent	Type_sol	Semis_sec	Variete	Trait_semen ces	Assoc	Date_levée	
8	Mil	Dior	OK	souna_L	NO	NO	10-juil	
9	Mil	Dior	OK	souna_L	NO	NO	10-juil	
10	Arachide	Dior	OK	souna_L	NO	NO	10-juil	
11	Arachide	Dior	OK	souna_L	NO	NO	10-juil	
12	Arachide	D_d	OK	souna_L	OK	NO	10-juil	

Annexe 9: Liste des matériels

 <p>Loupe binoculaire</p>	 <p>Tube Eppendorf</p>	 <p>Pilulier</p>
 <p>Freez gel</p>	 <p>Pince fine</p>	 <p>Pissette + alcool 90°</p>
 <p>Boite de rangement</p>	 <p>Parafilm</p>	 <p>Glacière</p>
 <p>Sacs Malikane</p>	 <p>Bouteille pour l'élevage des larves</p>	 <p>Boite de Pétri + papier filtre</p>



Figure 1: Méthode de marquage des piluliers

Annexe 10 : Fiche terrain œufs et larves.

FICHE MINEUSE						
		N° parcelle:		Date:		
N° poquet	Nb plants poquet	Stade épi de la tige princiale	Longueur épi (cm)	Nb œufs Minimum	Nb larves Minimum	Prédateurs
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

Initiation florale (IF).
 Floraison femelle (FF).
 Floraison mâle (FM).

Annexe 11 : Fiche laboratoire pour le suivi des œufs.

FICHE LABO ŒUFS									
Date collecte	N° parcelle	N° boîte	Nombre d'œufs	Nombre de larves	Nombre parasites	Nb d'œufs non éclos	Nb d'œufs parasité	espèce ou morphotype	Autres
07/09/2013	5	1	15	6	0	4	5		0
		2	15	12	0	0	3		0
		3	15	12	0	1	2		0
		4	15	6	0	4	5		0
		5	15	10	0	5	3		0
		6	15	11	0	4	0		0
	21	1	15	10	0	4	0		0
		2	15	13	0	2	0		0
		1	15	4	1	10	0	Tricho	0
	31	2	15	12	0	3	0		0
		3	14	14	0	0	0		0
		1	15	12	0	0	0		0
	40	2	15	13	0	0	0		0
		3	15	14	0	0	0		0
		4	15	12	0	0	0		0
		5	15	6	0	0	0		0
		6	15	11	0	0	4	0	

Trichogrammatoïdae sp.
 Il s'agit de l'espèce parasite sortie des œufs

Annexe 12: Fiche laboratoire pour le suivi des larves.

N° Pe	N° Boîte	N°épi	N°Larve	Date Ob1	Stade	Etat	Date Ob 2	P/A	Satde	Etat	Date Ob 3	P/A	Stade	Etat
14	1	1	1	18-sept	2	S	21-sept	A			26-sept	A		
14	1	1	2		2	S		A				A		
14	1	2	3		1	S		P	3			A		
14	1	2	4		3	S		P	3			A		
14					2	S		P	3			A		
14					3	S						A		
14					2	S						A		
14					3	S						A		
14					3	M						A		
14					4	S						A		
14					3	S						A		
14					3	S						A		
14					3	S		A				A		
14	3	9	16		3	S		A				A		
14	3	9	17		3	S		P	3			A		
14	3	10	18		3	S		A				A		
14	3	10	19		2	S		A				A		
14	3	10	20		2	S		P	3			A		

Date de la première observation

Le stade de développement de la larve (L1, L2, L3, L4), lors de l'observation.

Etat de la larve au moment de l'observation
 M = morte
 S = saine
 P = parasitée

Annexe 13. Etude allométrique sur épis indemnes

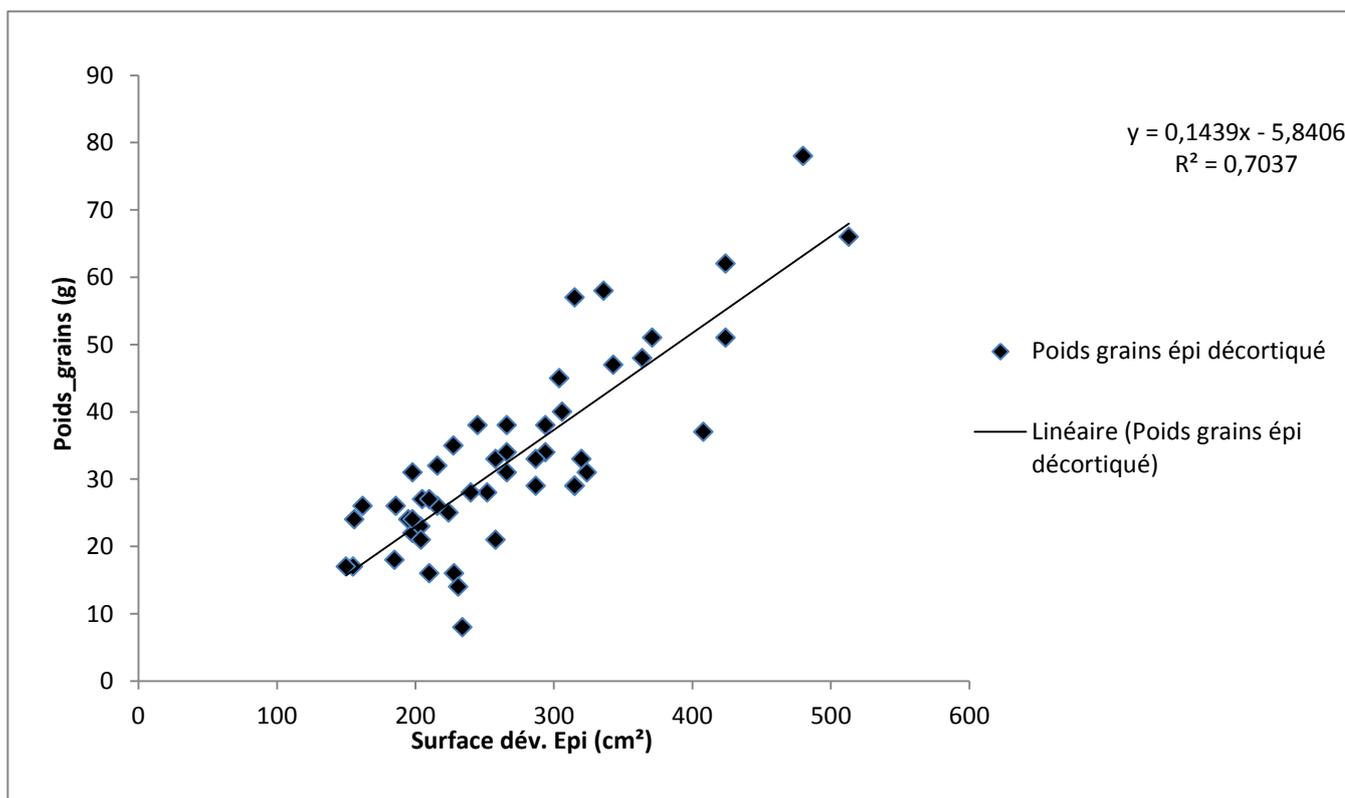


Figure 1 : courbe de variation du poids de grains des épis décortiqués en fonction du poids de grains et de la surface développée par l'épi

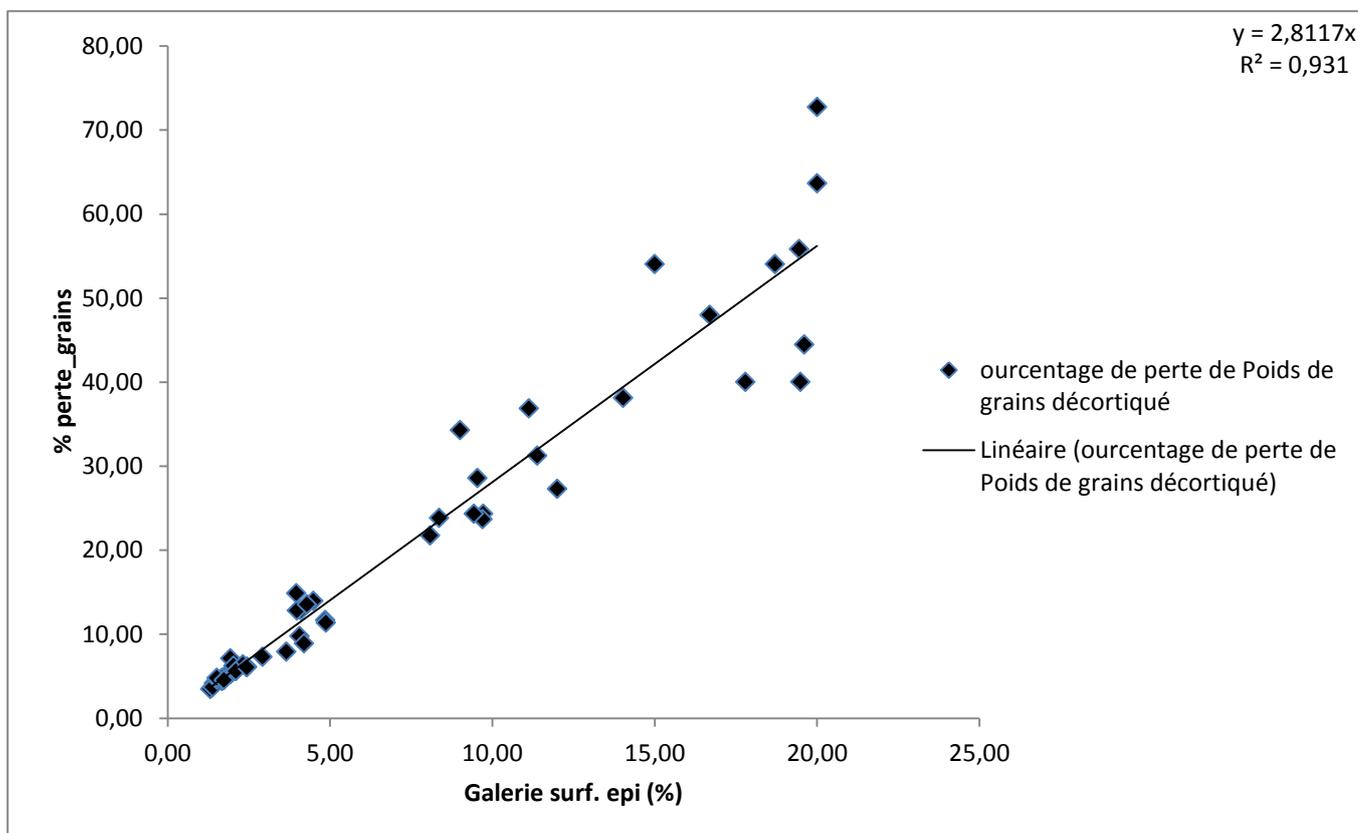


Figure 2: Courbe de la variation du pourcentage de poids de grains décortiqué en fonction du pourcentage de la surface de galeries développée sur l'épi et le pourcentage de perte en grains

Annexe 14 : Tableau de données sur les œufs d'*Heliocheilus albipunctella*.

Numéro Parcelle	Moyenne de Nombre œufs	Moyenne de Présence d'œufs	Moyenne de Nombre larves <i>H. albipunctella</i>
1	1,54	0,50	0,04
2	3,24	0,66	0,34
3	3,94	0,66	0,36
4	0,56	0,12	0,00
5	3,46	0,62	0,22
6	2,00	0,44	0,00
7	1,28	0,38	0,06
8	0,82	0,24	0,02
9	1,26	0,30	0,00
10	4,12	0,70	0,46
11	0,88	0,30	0,64
12	2,60	0,48	0,08
13	1,20	0,42	0,08
14	0,30	0,14	0,14
15	4,66	0,78	0,06
16	0,52	0,16	0,02
17	0,54	0,30	0,10
18	1,18	0,30	0,40
19	0,34	0,18	0,00
20	2,50	0,58	0,14
21	0,82	0,32	0,24
22	1,54	0,40	0,12
23	1,88	0,44	0,06
24	1,24	0,30	0,00
25	4,78	0,68	0,20
26	1,48	0,34	0,06
27	3,50	0,60	0,00
28	1,16	0,22	0,24
29	5,26	0,70	0,06
30	2,58	0,64	0,06
31	0,84	0,26	0,40
32	2,84	0,60	0,28
33	0,18	0,12	0,02
34	1,56	0,46	0,30
35	0,86	0,34	0,74
36	0,98	0,42	0,06
37	2,32	0,52	0,10
38	0,34	0,20	0,08
39	0,94	0,36	0,12
40	1,48	0,42	0,62
41	0,22	0,14	0,00
42	1,98	0,46	0,38
43	1,00	0,24	0,00
44	1,08	0,30	0,00
45	1,50	0,48	0,04
T. général	1,76	0,40	0,16
Moyenne	1,76	0,40	0,16
Minimum	0,18	0,12	0,00
Maximum	5,26	0,78	0,74

Annexe 15: Tableau des données sur le suivi des œufs d'*H. Albipunctella* pour l'étude du parasitisme associé.

Numéro de parcelle	Moyenne de nombre d'œufs	Moyenne de nombre de larves	Moyenne de nombre de parasites	Moyenne de taux d'éclosion	Moyenne de taux parasitisme
1	90	70	1	0,78	0,0
2	90	62	0	0,69	0,0
3	90	75	0	0,83	0,0
4	34	20	4	0,59	0,1
5	90	57	0	0,63	0,2
6	122	73	1	0,60	0,0
7	53	32	0	0,60	0,0
8	60	44	0	0,73	0,0
9	55	33	0	0,60	0,0
10	90	73	0	0,81	0,1
11	39	15	0	0,38	0,1
12	90	62	0	0,69	0,0
13	67	46	0	0,69	0,0
14	27	19	1	0,70	0,0
15	90	72	0	0,80	0,0
16	23	19	0	0,83	0,0
17	30	18	1	0,60	0,0
18	90	71	0	0,79	0,0
19	37	24	0	0,65	0,0
20	97	62	0	0,64	0,0
21	30	23	0	0,77	0,0
22	62	54	0	0,87	0,0
23	63	41	0	0,65	0,0
24	38	17	0	0,45	0,0
25	95	79	0	0,83	0,0
26	62	31	2	0,50	0,0
27	90	59	3	0,66	0,2
28	45	37	0	0,82	0,0
29	105	91	0	0,87	0,0
30	90	69	0	0,77	0,0
31	44	30	1	0,68	0,0
32	95	68	0	0,72	0,0
33	21	16	0	0,76	0,0
34	82	70	0	0,85	0,0
35	31	20	0	0,65	0,0
36	52	39	0	0,75	0,0
37	101	83	1	0,82	0,0
38	20	9	0	0,45	0,0
39	28	18	0	0,64	0,0
40	90	68	0	0,76	0,0
41	8	7	0	0,88	0,0
42	60	41	0	0,68	0,0
43	39	21	1	0,54	0,1
44	60	52	0	0,87	0,1
45	46	37	1	0,80	0,0
Moyenne	62,69	45,04	0,38	0,70	0,02
Minimum	8	7	0	0	0
Maximum	122	91	4	1	0,2

Annexe 16 : Tableau des données sur l'observation des larves d'*H. albipunctella*.

Numéro parcelle	Moyenne de Nombre de larves <i>H. albipunctella</i>	Moyenne de Présence de larves <i>H. albipunctella</i>	Moyenne de nombre de larves <i>Helichoverpa armigera</i>	Moyenne de Nombre de galerie	Moyenne de Nombre de larves <i>Massalia sp</i>
1	1,6	0,7	0,0	0,3	0,04
2	2,6	0,9	0,0	0,4	0,38
3	1,7	0,8	0,0	0,5	0,16
4	0,7	0,7	0,0	0,6	0,00
5	2,6	0,8	0,0	0,4	0,08
6	1,2	0,8	0,0	0,9	0,00
7	1,6	0,8	0,0	0,3	0,00
8	1,2	0,6	0,0	0,3	0,00
9	0,8	0,6	0,0	0,3	0,02
10	1,4	0,8	0,0	0,4	0,02
11	2,3	0,9	0,0	0,5	0,00
12	1,8	0,8	0,0	0,1	0,04
13	1,7	0,7	0,0	0,3	0,00
14	0,9	0,8	0,0	1,0	0,00
15	1,5	0,5	0,0	0,0	0,02
16	1,7	0,8	0,0	1,6	0,00
17	1,6	0,9	0,0	1,6	0,00
18	1,5	0,6	0,0	0,1	0,04
19	0,5	0,6	0,0	0,5	0,00
20	1,6	0,9	0,0	1,1	0,00
21	1,9	0,7	0,0	0,7	0,02
22	1,9	0,9	0,0	0,3	0,00
23	1,5	0,7	0,0	0,0	0,00
24	2,5	0,9	0,0	0,4	0,00
25	1,6	0,8	0,1	0,8	0,00
26	1,2	0,8	0,0	0,0	0,00
27	1,3	0,7	0,1	0,0	0,02
28	1,6	0,8	0,0	0,9	0,00
29	3,7	0,9	0,1	0,2	0,02
30	0,9	0,5	0,0	0,0	0,00
31	1,8	0,8	0,0	0,9	0,04
32	2,3	0,7	0,0	0,0	0,02
33	1,3	0,7	0,0	0,5	0,00
34	2,0	0,8	0,0	1,0	0,00
35	1,0	0,6	0,0	0,3	0,00
36	1,2	0,7	0,0	0,6	0,00
37	1,4	0,8	0,0	0,8	0,00
38	1,6	0,8	0,0	1,1	0,00
39	1,7	0,8	0,0	0,9	0,00
40	2,4	0,9	0,0	1,5	0,00
41	1,5	0,9	0,0	1,0	0,00
42	1,3	0,9	0,0	1,1	0,00
43	2,0	0,8	0,0	1,0	0,00
44	1,1	0,7	0,0	0,5	0,00
45	1,0	0,6	0,0	0,0	0,00
Total général	72,1	34,3	0,7	25,5	0,9
Moyenne	1,60	0,8	0,02	0,56	0,02
Minimum	0,5	0,5	0,0	0,0	0,0
Maximum	3,7	0,9	0,1	1,6	0,4

Annexe 17: Tableau des données sur le suivi des larves et l'étude du parasitisme associé.

Numéro parcelle	Moyenne de nombre chrysalide parasitées par des cocons d'Ichneumonidae	Moyenne de nombre larves parasitées par autres parasitoïdes inconnus	Moyenne de nombre de larves parasitées par <i>Bracon sp.</i>	Moyenne de nombre de larves parasitées par des larves de Tachinidae	Moyenne de taux de parasitisme
1	2	2	1	1	0,1
2	1	1	0	4	0,1
3	1	3	1	3	0,3
4	0	1	0	0	0,0
5	2	1	0	0	0,2
6	0	1	1	0	0,1
7	0	0	0	0	0,0
8	2	0	0	1	0,1
9	0	4	0	4	0,3
10	3	3	0	5	0,3
11	0	0	2	3	0,1
12	1	5	1	4	0,3
13	0	0	2	0	0,0
14	4	1	0	0	0,1
15	3	0	0	4	0,1
16	8	1	0	0	0,2
17	2	0	0	0	0,0
18	8	0	0	4	0,2
19	1	0	1	1	0,3
20	1	1	0	0	0,1
21	0	0	0	1	0,1
22	4	0	0	1	0,2
23	0	0	0	0	0,0
24	7	0	1	1	0,2
25	5	2	0	0	0,4
26	6	0	0	0	0,2
27	5	1	0	6	0,3
28	0	11	2	15	0,8
29	0	4	3	4	0,2
30	8	5	0	2	0,4
31	1	0	1	6	0,3
32	1	1	2	3	0,2
33	3	0	0	0	0,1
34	3	0	0	0	0,1
35	0	0	3	2	0,2
36	1	4	1	0	0,2
37	1	0	1	1	0,1
38	0	0	0	0	0,0
39	6	1	0	0	0,2
40	0	29	0	5	0,6
41	0	0	0	0	0,0
42	2	1	0	0	0,1
43	4	1	0	0	0,1
44	2	1	0	0	0,1
45	3	0	1	1	0,1
Total	101	85	24	82	8
Moyenne	2	2	1	2	0
Maximum	8	29	3	15	1
Minimum	0	0	0	0	0

Annexe 18: Tableau de donnée de l'étude de la régulation naturelle du ravageur à partir de l'Indice de Service Biologique (BSI).

Numéro parcelle	Moyenne de BSI	Moyenne de BSI corrigé	Moyenne de BSI corrigé/3
1	0,37	0,59	0,44
2	0,54	0,67	0,64
3	0,55	0,81	0,65
4	0,00	0,67	0,33
5	0,38	0,61	0,54
6	0,88	0,96	0,91
7	0,00	0,17	0,00
8	0,50	1,00	0,50
9	0,87	1,00	0,93
10	0,83	1,00	0,99
11	0,27	0,75	0,43
12	0,82	0,96	0,92
13	0,48	0,75	0,62
14	0,70	0,78	0,78
15	0,57	0,83	0,66
16	0,68	0,96	0,78
17	0,89	0,94	0,91
18	0,36	0,61	0,44
19	0,80	1,00	0,98
20	0,28	0,50	0,47
21	0,00	0,00	0,00
22	0,56	0,92	0,68
23	0,69	0,96	0,83
24	0,15	0,58	0,25
25	0,42	0,67	0,53
26	0,83	0,83	0,83
27	0,64	0,90	0,73
28	0,22	1,00	0,48
29	0,48	0,79	0,58
31	0,65	0,88	0,81
32	0,30	0,92	0,53
33	0,44	1,00	0,69
34	0,55	0,60	0,56
35	0,83	1,00	0,94
36	0,93	1,00	0,95
37	0,54	0,54	0,54
38	0,00	0,33	0,11
39	0,86	0,95	0,89
40	0,50	0,78	0,59
41	0,50	0,83	0,67
42	0,25	0,38	0,29
43	0,00	0,00	0,00
44	0,45	0,95	0,67
45	0,00	1,00	0,00
Total	21,58	33,37	26,08
Moyenne	0,49	0,76	0,59
Minimum	0,00	0,00	0,00
Maximum	0,93	1,00	0,99
n	45	45	45

Annexe 19: Tableau de données sur l'estimation de dégât à partir de relation allométrique.

N° épi	Long. (cm)	Diam. (cm)	Surf. (cm ²)	Pds_grains_epi_total (g)	Pds_grains_epi_de cort	Tx_decorcort	Long_gal	Largeur galerie (cm)	%Surf_epi	Pds_grains_gal (g)	%perte_Pds_grains decorcort
1	42	6,0	252	35	28	0,80	8	0,6	1,95	2	5,71
2	57	9,0	513	93	66	0,71	11	0,6	1,31	3,2	3,44
3	33	6,0	198	38	31	0,82	6	0,6	1,94	2	5,26
4	60	8,0	480	101	78	0,77	11	0,6	1,43	4,2	4,16
5	33	6,0	198	29	22	0,76	7	0,6	2,00	1,6	5,52
6	45	7,0	315	46	29	0,63	9	0,6	1,68	2,2	4,78
7	37	5,5	204	34	23	0,68	7	0,6	2,06	2,2	6,47
8	41	7,0	287	50	29	0,58	8	0,6	1,67	2,2	4,40
9	40	8,0	320	54	33	0,61	7	0,6	1,39	2	3,70
10	26	6,0	156	31	24	0,77	5	0,6	1,92	2,2	7,10
11	43	6,0	258	45	33	0,73	11	0,6	2,44	2,75	6,11
12	53	8,0	424	66	51	0,77	11	0,6	1,52	3	4,55
13	51	8,0	408	52	37	0,71	10	0,6	1,51	2,5	4,81
14	53	8,0	424	83	62	0,75	12	0,6	1,73	3,75	4,52
15	49	7,0	343	62	47	0,76	12	0,6	2,10	3,5	5,65
16	38	7,0	266	48	34	0,71	9	0,6	2,03	3	6,25
17	54	6,0	324	43	31	0,72	13	0,6	2,31	2,75	6,40
18	37	5,0	185	24	18	0,75	9	0,6	2,92	1,75	7,29
19	45	7,0	315	58	29	0,50	11	0,6	2,10	3,25	5,60
20	35	6,0	210	29	16	0,55	9	0,6	2,43	1,75	6,03
21	38	7,0	266	46	31	0,67	18	0,6	4,06	4,5	9,78
22	45	7,0	315	70	57	0,81	22	0,6	4,10	9	12,86
23	38	8,0	304	57	45	0,79	19	0,6	3,65	4,5	7,89
24	42	7,0	294	43	34	0,79	20	0,6	3,98	5,5	12,79
25	34	6,0	204	30	21	0,70	17	0,6	4,85	3,5	11,67
26	35	6,5	228	43	35	0,81	17	0,6	4,48	6	13,95
27	42	7,0	294	48	38	0,79	21	0,6	4,29	6,5	13,54
28	52	7,0	364	64	48	0,75	24	0,6	3,96	9,5	14,84
29	38	6,0	228	22	16	0,73	19	0,6	4,87	2,5	11,36
30	48	7,0	336	90	58	0,64	24	0,6	4,20	8	8,89
31	36	6,0	216	37	26	0,70	35	0,6	9,72	9	24,32
32	40	6,0	240	35	28	0,80	36	0,6	9,00	12	34,29
33	35	7,0	245	46	38	0,83	33	0,6	8,08	10	21,74
34	31	5,0	155	22	17	0,77	31	0,6	12,00	6	27,27
35	41	5,0	205	38	27	0,71	38	0,6	11,12	14	36,84
36	41	7,0	287	42	33	0,79	40	0,6	8,36	10	23,81
37	43	6,0	258	28	21	0,75	41	0,6	9,53	8	28,57
38	39	5,0	195	32	24	0,75	37	0,6	11,38	10	31,25
39	33	6,0	198	38	24	0,63	32	0,6	9,70	9	23,68
40	35	6,0	210	37	27	0,73	33	0,6	9,43	9	24,32
41	51	6,0	306	54	40	0,74	100	0,6	19,61	24	44,44
42	38	7,0	266	50	38	0,76	74	0,6	16,69	24	48,00
43	33	7,0	231	21	14	0,67	54	0,6	14,03	8	38,10
44	28	8,0	224	37	25	0,68	56	0,6	15,00	20	54,05
45	39	6,0	234	20	8	0,40	76	0,6	19,49	8	40,00
46	53	7,0	371	70	51	0,73	110	0,6	17,79	28	40,00
47	25	6,0	150	22	17	0,77	50	0,6	20,00	14	63,64
48	36	6,0	216	43	32	0,74	70	0,6	19,44	24	55,81
49	31	6,0	186	37	26	0,70	58	0,6	18,71	20	54,05
50	27	6,0	162	33	26	0,79	54	0,6	20,00	24	72,73

Annexe 20 : Tableau de données sur l'estimation de dégât.

Numéro parcelle	Moyenne des épis attaqués	Moyenne de Nombre de galeries	Moyenne de Poids de grains d'épi potentiel (g)	Moyenne de % de perte de grains estimé (g)
1	0,85	1,85	27,40	6,67
2	0,96	2,33	27,54	9,34
3	0,92	2,21	36,53	7,10
4	0,58	0,96	35,21	2,66
5	0,94	2,38	27,95	10,67
6	0,81	1,83	38,62	5,20
7	0,81	1,50	33,53	4,92
8	0,58	0,83	31,19	2,33
9	0,71	1,08	24,43	4,29
10	0,81	1,85	23,23	9,30
11	0,81	2,10	32,04	6,85
12	0,85	1,65	28,67	6,22
13	0,94	2,25	33,02	8,08
14	0,67	1,21	34,94	3,57
15	0,69	1,60	24,40	8,28
16	0,79	1,73	40,44	4,87
17	0,88	2,10	38,31	7,75
18	0,85	2,33	26,20	10,20
19	0,67	1,31	48,49	3,75
20	0,48	1,88	32,14	5,08
21	0,73	1,73	34,54	8,81
22	0,92	2,27	30,95	8,40
23	0,83	1,56	29,68	7,71
24	0,90	2,35	36,89	8,43
25	0,91	1,85	26,63	7,25
26	0,83	1,56	35,06	5,78
27	0,92	2,15	26,38	9,27
28	0,85	1,92	32,51	6,90
29	0,92	2,23	32,07	6,63
30	0,71	1,15	29,43	3,48
31	0,83	1,69	35,41	7,00
32	0,85	2,02	29,40	7,94
33	0,73	1,29	31,91	4,64
34	0,85	2,02	33,27	8,64
35	0,79	1,96	30,50	7,51
36	0,69	1,27	26,98	5,09
37	0,91	2,43	44,18	7,00
38	0,60	0,94	33,41	3,79
39	0,92	2,29	33,04	7,72
41	0,65	1,08	34,33	3,73
42	0,81	1,56	31,32	6,28
43	0,79	1,52	37,29	5,51
44	0,81	1,73	38,03	5,04
45	0,73	1,15	43,31	3,78
Total	35,1	76,7	1440,8	283,4
Moyenne	0,8	1,74	32,7	6,4
Minimum	0,5	0,83	23,2	2,3
Maximum	1,0	2,43	48,5	10,7