

TABLE DES MATIERES

DEDICACES	ii
REMERCIEMENT	iii
TABLE DES MATIERES	iv
LISTE DES ABBREVIATIONS	v
LISTES DES FIGURES	vi
LISTE DES TABLEAUX	vi
RESUME	vii
ABSTRACT	viii
INTRODUCTION	1
CHAPITRE I : Synthèse bibliographique.....	3
I.1 La plante de maïs :.....	3
a) Description.....	3
b) Importance du maïs	3
c) Dégâts sur le maïs	3
I.2 L'arachide plante associée au maïs :	4
a) Description.....	4
b) Les avantages de l'arachide	4
c) Dégâts sur l'arachide.....	5
I.3 Le <i>Brachiaria</i> plante à composante Pull :	6
I.4 Les ravageurs du maïs	6
1. <i>S. frugiperda</i>	7
2. <i>S. calamitis</i>	8
3. <i>B. fusca</i>	8
4. <i>Ch. partellus</i>	9
5. Autres ravageurs	9
I.5 Les ennemis naturels.....	9
a) Les Parasitoïdes	10
b) Les Prédateurs.....	10
Chapitre II : MATERIEL ET METHODES	12
II.1 Présentation de la zone d'étude.....	12
II.2 Méthodologie.....	13
II.3 Mode d'échantillonnage.....	13
Chapitre III : RESULTATS ET DISCUSSION	15
III.1 Résultats	15

III.1.1 Effet de l'arachide (<i>Arachis hypogaea</i>) et du <i>Brachiaria</i> sp. sur la phénologie du maïs	15
III. 1.2 Inventaire de la biodiversité entomologique associée à la culture du maïs	16
III.1.3 L'effet de l'arachide (<i>Arachis hypogaea</i>) et du <i>Brachiaria</i> sp sur le contrôle naturel des ravageurs du maïs.....	16
III.1.4 Evaluation du rendement des deux parcelles.....	18
III.2 Discussion	19
CONCLUSION ET PERSPECTIVES	21
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	22
ANNEXE :.....	a
Tableau 3 : Illustration des principaux des ennemis naturels des deux parcelles (en annexe).....	a

LISTE DES ABBREVIATIONS

FAO :	Organisation mondiale pour l'agriculture et la santé
FAW :	Fall Armyworm (Chenille légionnaire d'automne)
CERFA :	Centre de recherche et de formation en Agro écologie
IFBC :	International Food Biotechnology Council
UCAD :	Université Cheikh Anta de Dakar
L2PIA :	Laboratoire de recherche en Production et Protection en Agroécosystèmes
CLA :	La chenille légionnaire d'automne

LISTES DES FIGURES

Figure 1 : Dégâts de <i>S. frugiperda</i> (A) et de <i>S. calamistis</i> (B) sur les jeunes plants de maïs	4
Figure 2: Plante d'arachide	5
Figure 3: Haie vive de <i>bracharia</i>	6
Figure 4 : Cycle de vie de <i>S. frugiperda</i> , a) Œuf; b) Larve; c) Pupe ; d) Adulte.....	7
Figure 5: Cycle de vie de <i>S. calamitis</i> , a) Œuf; b) Larve; c) Pupe ; d) Adulte	8
Figure 6 : Zone d'étude Sandiara	12
Figure 7 : Aménagement de la parcelle Témoin (A) et de la parcelle Push- pull(B)	13
Figure 8 : Echantillonnage	14
Figure 9 : Boîtes d'élevage des chenilles.....	14
Figure 10 : Moyenne des hauteurs des plants de maïs en fonction des parcelles.....	15
Figure 11 : Moyenne du nombre d'épis par pieds en fonction des parcelles	15
Figure 12 : Effectif des insectes en fonction des parcelles.....	17
Figure 13 : Contrôle naturel des ravageurs dans la parcelle Témoin (A) et dans la parcelle Push-pull (B).....	18
Figure 14: Moyennes du poids des épis de maïs en fonction des parcelles.....	18

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Diversité des espèces d'insectes dans les parcelles de maïs	16
Tableau 2 : Abondance des espèces d'insectes au niveau des parcelles	17
Tableau 3 : Illustration des principaux des ennemis naturels des deux parcelles (en annexe).....	a

RESUME

En Afrique, la production céréalière occupe une place très importante dans l'économie et la sécurité alimentaire. Cependant, le recours aux produits chimiques est coûteux et nuisible à l'environnement. La technologie Push-pull est une solution alternative à l'utilisation des intrants chimiques. L'objectif de cette étude est d'évaluer l'effet de l'arachide et d'une plante fourragère (*Brachiaria* sp) sur la phénologie et la biodiversité entomologique de la culture du maïs. Pour ce faire deux parcelles de 900 m² chacune sont installées dans un champ d'essai à Sandiara. Des échantillonnages hebdomadaires de cinquante pieds dans chaque parcelle sont effectués au hasard. Toutes les chenilles trouvées sur les plants sont prélevées et ramenées au laboratoire pour un suivi jusqu'à l'émergence. Les insectes adultes sont répertoriés puis identifiés. Les paramètres agronomiques ont été également notés. Les résultats ont montré que l'arachide et le *Bracharia* sp assure une bonne croissance des plants de maïs et améliorent le rendement qui se trouve multiplier par trois dans la parcelle Push-pull. Le nombre de chenilles et les dégâts de la culture de maïs sont nettement plus faibles dans la parcelle Push-pull. Cependant, La parcelle Push-pull présente la plus grande biodiversité d'ennemis naturels. Les ravageurs sont totalement contrôlés par les ennemis naturels dans la parcelle Push-pull.

Mots clés: Ethologie, *Zea mays*, *Brachiaria*, ennemis naturels, Push-pull, *S. frugiperda*, *S. calamistis*

ABSTRACT

In Africa, cereal production occupies a very important place in the economy and food security. However, the use of chemicals is expensive and harmful to the environment. Push-pull technology is an alternative solution to the use of chemical inputs. The objective of this study is to assess the effect of groundnuts and a forage plant (*Brachiaria* sp) on the phenology and entomological biodiversity of maize cultivation. To do this, two plots of 900 m² each are installed in a test field in Sandiara. Fifty-foot weekly samples from each plot are taken at random. All caterpillars found on the plants are collected and returned to the laboratory for monitoring until emergence. Adult insects are listed and then identified. Agronomic parameters were also noted. The results showed that peanuts and *Bracharia* sp ensure good growth of the maize plants and improve the yield which is found to be multiplied by three in the Push-pull plot. The number of caterpillars and the damage of the maize crop are significantly lower in the Push-pull plot. However, the Push-pull plot has the greatest biodiversity of natural enemies. The pests are totally controlled by the natural enemies in the Push-pull plot.

Keywords: Ethology, *Zea mays*, *Brachiaria*, natural enemies, Push-pull, *S. frugiperda*, *S. calamistis*

INTRODUCTION

En Afrique, l'agriculture constitue la principale source économique. Environ 60% de la population du continent vit de cette activité (FAO, 2011). Elle fournit 65% des emplois et contribue à 35% du PIB (Almohammad et al, 2012). Au Sénégal en particulier, elle représente environ 20% du PIB et emploie 60% de la population active et une portion importante des recettes d'exportations vient de ce secteur (Swarup and Manzo, 2015). Le maïs est cultivé dans le monde entier et constitue l'alimentation de base d'une importante proportion de l'humanité (IFBC, 2016). Le maïs (*Zea mays* L.) est une denrée de base très importante en Afrique subsaharienne. Il peut être utilisé comme aliments pour l'homme et les animaux et comme matière première industrielle (James et al, 2012). En 2015, la production de maïs s'élevait à plus de 300 milles tonnes au Sénégal (Sene et al, 2014).

Cependant, La production céréalière dans les pays se voit fortement limitée par les lépidoptères. Un complexe de 21 espèces de stemborers attaquent les cultures céréalières en Afrique subsaharienne et représentent les plus préjudiciables insectes nuisibles de ces cultures dans la région, avec les indigènes *Busseola fusca* (Fuller) (Noctuidae) et l'invasif *Chilo partellus* Swinhoe (Crambidae) étant le plus important (Kfir et al, 2002). L'attaque de Stemborers entraîne des pertes de rendement significatives allant de 15 à 88% de la production céréalière potentielle, selon l'organisme nuisible, densité de population et stade phénologique de la culture à l'infestation (Kfir et al, 2002). La Chenille légionnaire d'automne (FAW), *S. frugiperda* (J. E. Smith) est un ravageur vorace qui endommage une multitude de cultures annuelles. Selon Coles (2018), CABI a estimé que cet insecte nuisible coûterait 2,5 milliards à 6,2 milliards de dollars par an au moins au douze principaux pays producteurs de maïs en Afrique s'il n'est pas géré. Par conséquent, le recours aux méthodes de l'agriculture conventionnelle par les producteurs a très vite montré ses limites. En effet, maîtriser les perce-tiges en cultures céréalières (maïs) en utilisant des insecticides est non seulement coûteux et nuisible à l'environnement, mais s'avère inefficace puisque les produits chimiques ne peuvent pas pénétrer dans les tiges où couvent les larves des perce-tiges. En plus l'utilisation des pesticides chimiques provoque des problèmes de santé publique par la pollution de l'eau, des sols et des aliments (Mench and Baize, 2004). Son usage abusif entraîne également des phénomènes de résistances des insectes et des champignons vis-à-vis de ces produits phytosanitaires (Leroux, 2003).

Une approche de gestion de l'habitat appelée «push-pull» a été adoptée comme des solutions alternatives à l'utilisation des intrants chimiques pour la protection des cultures. La technologie push-pull consiste à exploiter les stimuli modifiant le comportement pour

manipuler la distribution et l'abondance des ravageurs et de leurs ennemis naturels (Cook et al, 2007). Le Push-pull (le pousser-pièger) aussi appelé répulsion-attraction est une approche de lutte biologique qui consiste à "chasser" les insectes ravageurs d'une culture principale et à les "charmer" vers la litière du champ. Il est composé d'une culture intercalaire du maïs (répulsive) et d'une plante piège attrayante (pull) comme culture de bordure autour de cette culture associée. Les noctuelles gravides sont repoussées de la culture principale et sont simultanément attirés par la culture piège (Cook et al, 2007; Khan et al, 2010).

Des activités de recherche sont menées dans différents pays sur les associations de cultures des spéculations à effet push pull afin de protéger des cultures dites cibles. A ce titre, la technologie Push-pull est développée en Afrique de l'Est dans les pays comme le Kenya, l'Ouganda et la Tanzanie. Au Kenya, en particulier dans les districts de Trans, Nzoia et Suba la chimie de la plante responsable la libération de substances sémiochimiques attractives provenant des plantes pièges et de substances sémiochimiques répulsives issues des cultures associées illustrent le contrôle de la pyrale des tiges (Khan et al., 2000a). La technologie push-pull, un système de culture basé sur l'écologie chimique, est développée pour la gestion intégrée des nuisibles et des mauvaises herbes dans les systèmes de production de céréales et de bétail en Afrique subsaharienne (Khan et al., 2016). Le push-pull développé en Afrique subsaharienne en combinant des plantes compagnes fournissant des substances semi-chimiques, en tant que métabolites secondaires de plantes, pour la production céréalière de petites exploitations, a permis initialement de lutter contre les foreurs lépidoptères (Pickett et al., 2014). En Afrique de l'Est, un système push-pull adapté au climat contrôle efficacement la légionnaire d'automne, *Spodoptera frugiperda*, dans le maïs : Des réductions de 82,7% du nombre moyen de larves par plante et de 86,7% des dégâts des plantes par parcelle ont été observées dans les systèmes push-pull adaptés au climat, par rapport aux parcelles de monoculture de maïs (Midega et al., 2018).

Cependant en Afrique Occidentale particulièrement au Sénégal l'état des connaissances sur la technologie du système Push-pull est très limité. L'objectif général de cette étude est d'évaluer l'effet de l'arachide et d'une herbe fourragère (*Brachiaria* sp) sur la phénologie et la biodiversité entomologique de la culture du maïs. De façon spécifique, il s'agit d'abord (i) d'évaluer l'effet de l'arachide et du *Brachiaria* sp sur la phénologie de la culture, (ii) d'inventorier la biodiversité entomologique associée à la culture du maïs et enfin (iii) de déterminer le rôle de l'arachide et du *Brachiaria* sp sur le contrôle naturel des ravageurs. Ce mémoire s'articule autour de trois chapitres ; une synthèse bibliographique, le matériel et la méthodologie et enfin les résultats et la discussion.

CHAPITRE I : Synthèse bibliographique

I.1 La plante de maïs :

a) Description

Le maïs (*Z. mays* L.) est une plante annuelle monoïque de grande taille, à gaines se recouvrant les unes les autres et à limbes développées nettement distiques. Les plantes possèdent des épillets mâles en grappes spiciformes réunis sur une panicule terminale étalée et des inflorescences femelles insérées à l'aisselle des feuilles, dans lesquelles les épillets sont alignés en rangées (8 à 16) d'environ 30 épillets chacune, et sont portés sur un rachis presque ligneux épais. L'ensemble de la structure (épi) est enveloppée dans de nombreuses bractées foliacées développées (spathes), et une masse de longs stigmates s'échappent au sommet des spathes en une touffe de filaments (soies) (Thirion and Simon, 2011).

b) Importance du maïs

Le maïs est une plante tropicale de la famille des graminées, constituant historique de l'alimentation de base des civilisations d'Amérique Centrale d'où la plante est originaire. Aujourd'hui, le maïs est devenu la première céréale cultivée dans le monde, devant le riz et le blé. Récolté en grain ou avec toute la plante, le maïs est largement utilisé dans l'alimentation animale et humaine, et pour des usages industriels. Le maïs étant essentiellement une culture pluviale, l'accroissement de la variabilité des précipitations entraînera des baisses de production dues à la sécheresse et aux inondations en Afrique subsaharienne et en Asie (FAO, 2017a).

c) Dégâts sur le maïs

Plus de 17 espèces appartenant à deux familles (Pyralidae et Noctuidae) attaquaient le maïs dans diverses régions d'Afrique. Cependant, en Afrique orientale, *Chilo partellus* (Pyralidae) et *Busseola* (Noctuidae) revêtent une importance significative. L'espèce *S. frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera : Noctuidae) est un ravageur polyphage qui se propage partout en Amérique (Andrews, 1988). Elle se nourrit de plus de 80 espèces de cultures ayant une préférence pour le maïs et peut réduire les rendements jusqu'à 80% (FAO, 2017b). Les larves infestent d'abord la cornée. Elles forment des trous à bords irréguliers et ébréchés sur le feuillage. Elles laissent aussi des masses d'excréments brun rougeâtre semblables à du bran de scie. Plus tard en saison, les larves infestent aussi l'épi, s'y insérant parfois par le bout, mais plus souvent par le côté, en perçant les spathes de l'épi (Jean et al. 2009). Les dégâts résultent de défoliations qui peuvent être très importantes et de l'attaque des tiges et plantules. Sur maïs, les épis sont également attaqués (Mannuci, 2013).

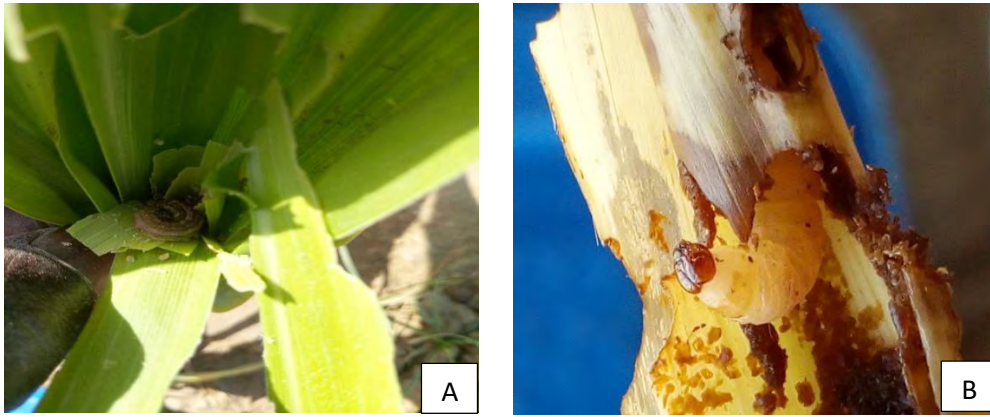


Figure 1 : Dégâts de *S. frugiperda* (A) et de *S. calamistis* (B) sur les jeunes plants de maïs

I. 2 L’arachide plante associée au maïs :

a) Description

L’arachide (*Arachis hypogaea* L.), dont le fruit s'appelle cacahuète ou cacahouète qui signifie cacao de terre, pois de terre, pistache de terre et pinotte (de l'anglais *peanut*) est une plante de la famille des légumineuses (*Fabaceae*) originaire d’Amérique du Sud (du Mexique) et centrale. Elle présente la particularité d’enterrer ses fruits après la fécondation. Les cycles de maturité varient de 120 à 130 jours dans le sud, à 90 jours à la limite nord de la zone de culture. La recherche en sélection continue a permis la création de plusieurs variétés mieux adaptées aux différentes écologies (Gautreau 1980). La plupart des variétés d'arachides cultivées au Sénégal ont été recommandées par la recherche. Elle est surtout cultivée dans plusieurs pays mais particulièrement en Asie et en Afrique notamment au Nigéria, au Sénégal, en République du Congo Démocratique et au Bénin. Au Sénégal, les sols seraient adaptés et favorables à la production d’arachide. Les sols de culture d'arachide ont un sable texture (Charreau 1961) avec une faible teneur en argile (4% pour le sol appelé "dior") et une faible capacité de rétention d'humidité (6-10% en poids) et également une faible teneur en minéraux.

b) Les avantages de l’arachide

L’arachide est cultivée dans les régions tropicales, subtropicales et tempérées pour ses graines oléagineuses. Elle est une plante d’avantages multiples et usages divers. Les produits arachidières sont des aliments de base en Afrique, où ils sont à juste titre, très appréciés pour leurs hautes valeurs nutritive et gustative, de plus la biomasse de cette dernière serait utilisée comme foin pour l’alimentation du bétail. L'arachide constitue la principale culture de rente de l'agriculture sénégalaise, la majeure partie de la production étant transformée en huile d'arachide. Ils jouent un rôle important dans l'économie du pays, même si au cours des dernières années l'accent ont été mis sur le développement des cultures vivrières. Ils représentent entre

un tiers et la moitié des exportations totales du Sénégal. Le bassin arachidier couvre une superficie d'environ 3 millions d'hectares dont, en moyenne, 1,1 million d'hectares sont semés d'arachides chaque année. Au Sénégal, elle constitue le premier produit d'exportation après la pêche, la culture de l'arachide occupe 40% des terres cultivées. Comme la plupart des autres légumineuses, les arachides abritent des bactéries symbiotiques fixatrices d'azote dans les nodules racinaires. Cette capacité à fixer l'azote signifie que les arachides nécessitent moins d'engrais contenant de l'azote et améliorent également la fertilité du sol, ce qui les rend précieuses dans les rotations des cultures. Par conséquent, tous ses atouts font que l'arachide soit le meilleur substituant du *Desmodium*.

c) Dégâts sur l'arachide

Les mille-pattes (Odontopygidae), termites (*Eutermes parvulus*), larves (*Amsacta moloneyi* et *Spodoptera littoralis*), punaises (*Aphanus sordidus*) et bruchidés (*Caryedon fuscus*); les nématodes; la rouille et la tache foliaire de *Cercospora* constituent les principaux ravageurs de l'arachide. Même si les invasions d'insectes et de myriapodes pendant la saison de croissance sont transitoires et relativement légères, des dégâts importants des mille-pattes peuvent être observés au moment de l'émergence et pendant la formation des gousses. Il existe diverses maladies des feuilles d'arachide. La tache foliaire de *Cercospora* peut avoir un impact sérieux dans le sud du pays. La rouille de l'arachide est apparue en 1978-1979 mais sans conséquences économiques jusqu'à présent. Le problème de contamination des semences par *Aspergillus flavus* existe depuis plusieurs années. Le Sénégal, à l'extrémité ouest de l'Afrique, est sous l'influence du climat sahélo-soudanien caractérisé par une seule saison des pluies, généralement courte, et interrompue par de fréquentes périodes de sécheresse. Ainsi le manque d'eau serait le principal facteur limitant la production dans une grande partie de la zone de croissance pendant 10 à 12 ans. Le gradient pluviométrique nord-sud est très important: 1000 mm en 5 mois en Casamance et 300 mm en 2,5 mois au nord (Mauboussin 1973).



Figure 2: Plante d'arachide

I.3 Le *Brachiaria* plante à composante Pull :

Les *Brachiarias* sont des graminées (Famille des Poaceae) pérennes herbacées de type C4, originaires d'Afrique mais très largement répandues dans le monde intertropical. Les différentes espèces présentées ici produisent toutes une forte biomasse (fourrage de qualité), capables de supprimer les adventices et ont un système racinaire puissant et profond, capable de décompacter les sols, de les restructurer, d'injecter du carbone en profondeur et de recycler efficacement les nutriments lixiviés (rôle de "pompe biologique") (R Mwesigwa et al. 2015). L'espèce *Brachiaria* sp réduit l'érosion du sol (Khan et al. 2008). Dans des études de dépistage approfondies, *Brachiaria* sp et en particulier le commercial *Brachiaria* cv mulato, développé par le CIAT et cultivé localement, a été jugé tolérant pendant de longues périodes de sécheresse pouvant aller jusqu'à deux mois sans eau et à plus de 30 ° C (Pickett et al. 2014). Les plantes très attractives (*Brachiaria* sp) pour la ponte des œufs par les insectes stemborers ont été sélectionnées et utilisées comme cultures-pièges (tirer) pour éloigner les insectes de la culture principale (Khan et al., 2010). Les espèces de *Brachiaria* sont également préférées au maïs et au sorgho par les papillons à stemborer pour la ponte (Midega et al., 2011), *Brachiaria* cv mulato étant préféré par les petits exploitants comme fourrage pour les animaux (Khan et al., 2014). Des études montrent que l'utilisation de ces deux cultures associées le *Brachiaria* localement commercial cv mulato (culture en piège) et le greenleaf *Desmodium* (culture intercalaire) dans une technologie push-pull adaptée permet de lutter efficacement contre les stemborers et les striga, ce qui entraîne une augmentation significative du rendement en grains (Khan et al., 2014).



Figure 3: Haie vive de *bracharia*

I.4 Les ravageurs du maïs

Les lépidoptères sont les contraintes biotiques les plus importantes à la production de maïs dans toute l'Afrique. Ils limitent sérieusement les rendements de maïs potentiellement réalisables en

infestant la culture tout au long de sa croissance, du stade de plantule à la maturité. Plus de 17 espèces appartenant à deux familles (Pyralidae et Noctuidae) attaquaient le maïs dans diverses régions d'Afrique. En Afrique, les plus importants ravageurs foreurs de tiges sur le maïs sont *Busseola fusca*, *Chilo partellus*, *Sesamia calamistis* et *S. frugiperda* apparus plus récemment. *B. fusca* est surtout présent sur les hauts plateaux, tandis que *C. partellus* est largement présent dans les zones basses. *S. calamistis* est présent aussi bien sur les hauts plateaux que dans les zones basses.

1. *Spodoptera frugiperda*

La chenille légionnaire d'automne (CLA) est originaire des régions tropicales et subtropicales de l'Amérique du Nord et Sud. L'espèce *S. frugiperda* pourrait atteindre le sud de l'Europe par l'extension naturelle d'ici quelques années, bien que le désert du Sahara puisse ralentir sa propagation naturelle vers l'Afrique du Nord et l'Europe. Elle a un grand pouvoir de dispersion. Ce trait en fait d'elle une bonne espèce colonisatrice (Johnson, 1987b). L'espèce *S. frugiperda* est apparue en Afrique en 2016 (Goergen et al. 2016). Elle a été détectée au Centre et au Nord du Sénégal en 2018 (Brévault et al, 2018). Du fait de son taux de productivité et de propagation très élevé, la vitesse de migration est de 100 km par nuit chez les adultes (Chiba, 2017). Selon la migration de l'espèce, la distribution de la légionnaire d'automne diffère d'une année à l'autre (Jean et al. 2009). C'est le stade larvaire de l'insecte qui provoque des dégâts. La chenille légionnaire d'automne (*S. frugiperda*) est un insecte ravageur qui attaque plus de 80 espèces de plantes, causant des dégâts à des céréales cultivées d'importance économique telles que le maïs, le riz et le sorgho ainsi qu'aux cultures maraichères et au coton. Elle a aussi été identifiée en Inde (Sharanabasappa et al. 2018).

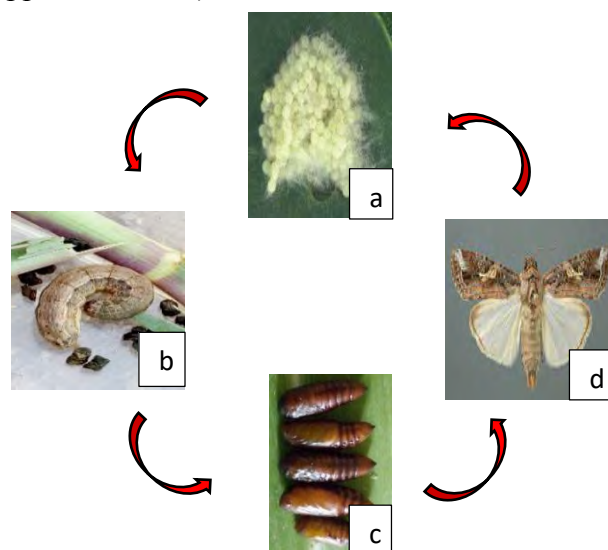


Figure 4 : Cycle de vie de *S. frugiperda*, a) Œuf; b) Larve; c) Pupa ; d) Adulte

2. *Sesamia calamitis*

Le foreur rose africain est originaire de l'Afrique subsaharienne. C'est un ravageur important des cultures notamment de maïs, de riz, de sorgho et de canne à sucre. Il a été démontré dans la province côtière du Kenya que *S. calamitis* devient important vers la deuxième saison de croissance (Warui and Kuria, 1983). L'étude de la distribution des ravageurs ou des lépidoptères foreurs de tige du maïs dans les 6 principales régions agro-écologiques du Kenya a montré en moyenne, 1,4 larves de foreur ont été trouvées par plante infestée 4,5% des *S. calamitis* Hampson (Noctuidae).

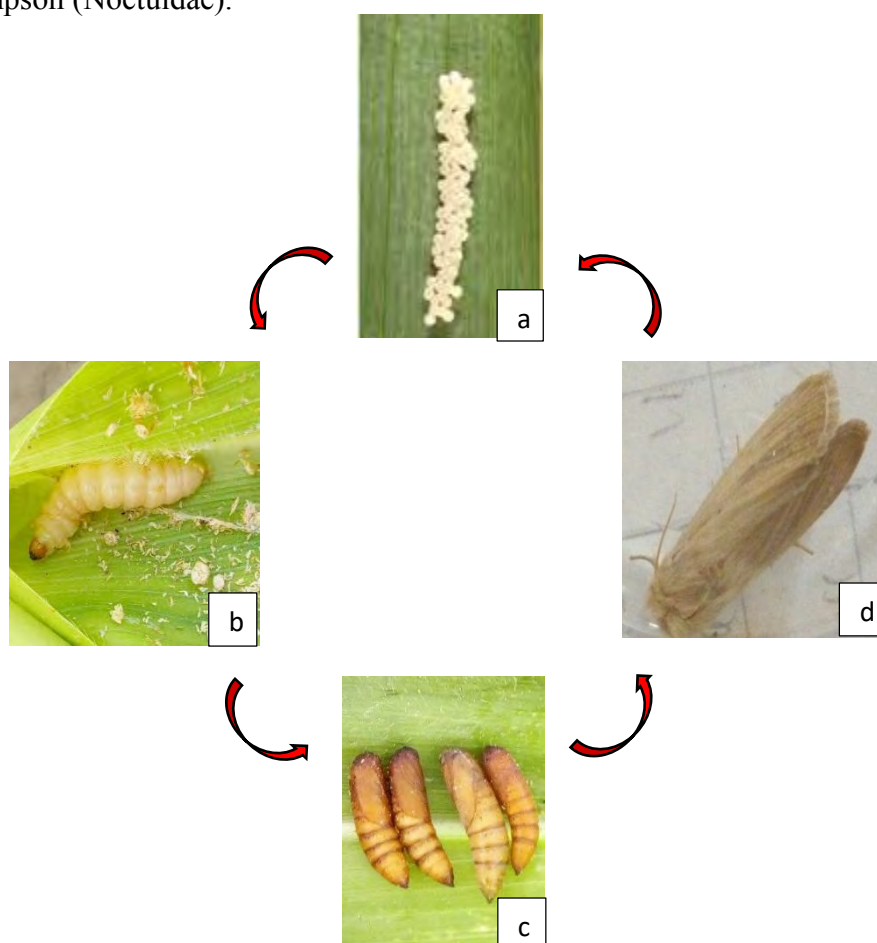


Figure 5: Cycle de vie de *S. calamitis*, a) Œuf; b) Larve; c) Pupe ; d) Adulte

3. *Busseola fusca*

Le foreur de tige du maïs ou de céréales est originaire d'Afrique. C'est un ravageur des cultures de maïs et de sorgho ou des principales cultures de céréales. En Afrique du Sud depuis en 1998, elle serait responsable d'une perte évaluée à 10% de la production annuelle de maïs (Kruger et al., 2012). Au Kenya, l'étude de la distribution des ravageurs ou des lépidoptères foreurs de tige du maïs a montré un taux d'infestation de 39,7% par *B. fusca* (Fuller) (Noctuidae). L'espèce *B.*

fusca est dominante dans les régions à haut potentiel de production (hautes terres tropicales, zone humide de transition et zone d'altitude moyenne humide) (Ong'amo et al., 2006).

4. *Chilo partellus*

Le foreur ponctué de graminées est un ravageur phytophage qui s'alimente de diverses céréales en particulier le maïs. Dans la province côtière du Kenya L'espèce exotique *Ch. partellus* est dominante dans les petites exploitations à faible potentiel de production (zone d'altitude moyenne sèche, zone sèche de transition et zone tropicale de basse altitude) (Ong'amo et al., 2006). L'étude de la distribution des ravageurs ou des lépidoptères foreurs de tige du maïs au Kenya a montré que 54,5% des larves récoltées étaient des *Ch. partellus* Swinhortse (Crambidae).

5. Autres ravageurs

Des espèces ont également été trouvées telles que *Eldana saccharina* Walker (Pyralidae), *Sesamia nonagrioides* Lefebvre (Noctuidae), *Sesamia cretica* Lederer (Noctuidae), *Sesamia* sp. (Noctuidae), *Sciomesa piscator* Fletcher (Noctuidae), *Busseola* sp near phaia (Noctuidae), *Chilo* sp, *Ematheudes* sp 1 (Pyralidae) et *Ematheudes* sp 2 (Pyralidae) (Kenya) *Chilo orichalcociliellus* Strand (Crambidae) *Diatraea grandiosella* Dyar, *D. saccharalis* (F.) et *Helicoverpa zea* (Boddie), constituent des parasites lépidoptères tropicaux ou ravageurs tropicaux du maïs (Bohorova et al., 1997). Les pucerons, les cicadelles (*Zyginidia scutellaris*), les vers-gris (*Agrotis segetum*) et les vers fil de fer (*Agriotes lineatus*), les taupins, les Scutigérelles, la Chrysomèle du maïs, l'*Oscinie*, la Noctuelle de la tomate sont des groupes d'herbivores dont les dommages n'impact pas trop sur les rendements du maïs. Les trois espèces de pucerons les plus abondantes étaient *Metopolophium dirhodum*, *Rhopalosiphum padi* et *Macrosiphum euphorbiae* (Pons et al., 2005). En Amérique, *Ostrinia nubilalis* (pyrale du maïs) reste ravageur important du maïs, (Hutchison et al., 2010). La pyrale l'*O. furnacalis* est le ravageur le plus destructeur du maïs en Chine, causant une perte de rendement de 6 à 9 million de rendement par an en moyenne.

I.5 Les ennemis naturels

Les agents de lutte biologique (ALB) incluent les insectes prédateurs qui mangent leur proie; les parasitoïdes, qui sont des insectes avec un stade adulte non fixe et un stade larvaire qui parasite un autre insecte; et les parasites ou pathogènes microbiens, comme les nématodes, les champignons, les bactéries, les virus et les protozoaires qui provoquent des infections mortelles.

a) Les Parasitoïdes

Les parasitoïdes sont des organismes dont les adultes pondent des œufs à l'intérieur ou attaches à un organisme hôte unique. Pour leur développement, les larves qui en résultent se nourrissent sur les tissus de l'hôte jusqu'à ce qu'elles atteignent leur taille maximale et se transforment en pupes. Les larves des parasitoïdes tuent toujours leur hôte comme résultat de leur développement. La majorité des parasitoïdes connus sont les guêpes et, moins fréquemment, les mouches. Ces parasitoïdes qui ont évolué conjointement peuvent exercer un impact fort sur les populations de la chenille légionnaire d'automne et par conséquent être de bons candidats à utiliser dans les programmes de lutte biologique. Au Venezuela, *Telenomus remus* a été utilisé pour contrôler la légionnaire, *S. frugiperda* (Ferrer, 2001). Pour lutter contre *S. frugiperda*, *T. remus* (parasite des œufs) et *Trichospilus pupivora* (parasite des pupes) ont été introduits par les stations indienne et pakistanaise de l'Institut de contrôle biologique du Commonwealth. Ces espèces importées, détruisent plus de 80% des masses d'œufs de *S. frugiperda*, à la Barbade (Alam, 1978). Le *Trichogramma* est utilisé à grande échelle pour lutter contre la pyrale du maïs asiatique depuis les années 1970, en partie à cause du fait que *Trichogramma dentrolimi* peut être élevé en masse avec succès sur des œufs du ver à soie du chêne chinois, *Antheraea pernyi* (Wang et al., 2014). En Colombie, des tests des taux de longévité, de parasitisme de trois espèces de parasitoïdes d'œufs du genre *Trichogramma* (*Trichogramma atopovirilia* Oatman & Platner, *Trichogramma exigum* Pinto & Platner et *Trichogramma pretiosum* Riley) sur un complexe d'espèces de lépidoptères appartenant à la famille des Noctuidae, *S. frugiperda* Smith et *Copitarsia decolora* Guenée. Les travaux ont montré que *T. atopovirilia* et *T. pretiosum* pourrait être des parasitoïdes prometteurs pour le contrôle de *S. frugiperda* et *C. decolora*, avec un pourcentage de parasitisme compris entre 30% et 60%, respectivement (Altieri and Letourneau, 1982). Au Kenya, *Chelonus insularis* (Hymenoptera : Braconidae) a montré un taux de parasitisme sur les masses d'œufs de *S. frugiperda* placées dans des parcelles expérimentales (Girma et al., 2000).

b) Les Prédateurs

En général, les prédateurs sont non-sélectifs ou généralistes, par conséquent ils se nourrissent de façon opportuniste sur plus d'une espèce hôte, parfois même sur leur propre genre. Les prédateurs tuent un ou plusieurs individus de la CLA au cours de leur vie, soit des larves, soit des adultes. Dans ce cas, les œufs, les chenilles, les pupes et les CLA adultes sont considérés comme des proies. Parmi ces espèces nous avons :

L'activité significativement des guêpes et araignées pendant la saison du maïs (Penagos et al., 2003) Les larves des coccinelles (Coleoptera: Coccinellidae) et les adultes (*Coleomegilla*

maculata, *Olla v-nigrum*, *Cycloneda sanguinea*, *Eriopis connexa*, *Hippodamia convergen*) se nourrissent de divers insectes phytophages comme les acariens, les pucerons, les cochenilles, les œufs et les jeunes larves des lépidoptères dont la chenille légionnaire d'automne. *Eriopis connexa* (Germar) (Coleoptera: Coccinellidae) est présent dans plusieurs pays d'Amérique du Sud et son élevage en masse est important pour les programmes de lutte biologique. Elle a une bonne adaptation à différentes proies corroborant ses habitudes alimentaires polyphages, ce qui démontre le potentiel de cet ennemi naturel pour lutter contre les parasites du maïs et du sorgho. Les larves d'*E. connexa* se nourrissent des œufs de *Anagasta kuehniella* (Zeller) (Lépidoptères: Pyralidae) et *S. frugiperda* (JE Smith) (Lépidoptères: Noctuidae), des chenilles nouvellement écloses de *S. frugiperda*, des nymphes de *Rhopalosiphum maidis* (Fitch) et *Schizaphis graminum* (Rondani) (Hemiptera: Aphididae) (Silva et al., 2013). Les fourmis sont souvent parmi les plus importants prédateurs des larves et des pupes de la CLA et réduisent considérablement l'abondance de la chenille légionnaire d'automne et de la cicadelle *Dalbulus maidis* (De Long & Wolcott) du maïs (Perfecto, 1991). L'*Orius* sp est un prédateur polyphage ou hétéroptère de la famille des Anthocoridae (Pons et al., 2005). Les perce-oreilles ou forficules (Dermaptera: Forficulidae, Carcinophoridae) ; notamment *Doru luteipes* et *Euborellia annulipes* sont actuellement reconnues comme jouant un rôle important en tant que prédateur des œufs de la CLA dans les cultures de maïs. De nombreuses espèces de carabes ou coléoptères terrestres (Coleoptera: Carabidae) présentes dans les cultures de maïs sont connues pour leurs habitudes de prédateurs sous forme de larves comme d'adultes (*Calosoma granulatum*). Plusieurs espèces de punaises (Hemiptera: Reduviidae, Pentatomidae, Geocoridae, Nabidae, Anthocoridae) se nourrissent sur les stades immatures de la CLA *Zelus* spp. (*Reduviidae*), *Podisus* sp. (*Pentatomidae*), *Orius insidiosus* (*Anthocoridae*), *Geocoris punctipes* (*Lygaeidae*). (<http://www.fao.org/3/I9124FR/i9124fr.pdf>)

Chapitre II : MATERIEL ET METHODES

II.1 Présentation de la zone d'étude

La commune de Sandiara fait partie de l'arrondissement de Sessène, du département de Mbour de la région de Thiès. Elle se situe sur la nationale 1 à 100 Km de Dakar et à 20 km de la station balnéaire de Saly Portudal, à une altitude de 18 mètres (14 ° 26 '0 ''nord, 16 ° 48' 0''). Elle compte 22 villages et 8 hameaux, sa population est de 28 430 habitants et sa superficie est de 198,2 km². Elle compte parmi les meilleures terres agricoles du Sénégal. Chaque village possède un forage et périmètre maraîcher de 4 à 15 ha. L'agriculture et l'élevage y sont les activités principales. Le relief est relativement plat avec quelques dépressions dont la plus remarquée est celle de la vallée de Sorène qui s'étend sur 15 km² environ se situant entre Sessène et Sandiara. Trois principaux types de sols sont présents dans la commune ; les sols dior, les sols deck-dior, les sols deck. Ils sont propices aux cultures maraîchères, fruitières et à la culture du sorgho. Le climat est de type sahélien avec l'alternance de deux saisons : une saison sèche longue de 7 à 8 mois et une saison pluvieuse plus courte de 3 à 4 mois. Les températures sont généralement élevées et varient entre 29 et 43°. Le site d'étude : CERFA (Centre Environnemental pour la Recherche et la Formation en Agroécologie) (Latitude : 14,43974109 Longitude : -16,76477219) se localise dans cette commune de Sandiara.

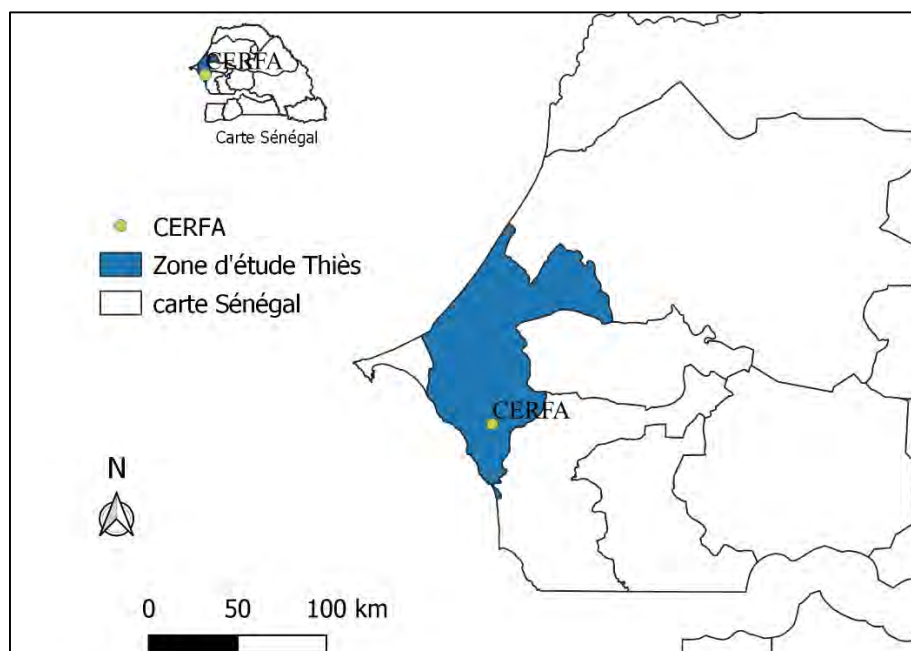


Figure 6 : Zone d'étude Sandiara

II.2 Méthodologie

Le dispositif de terrain est constitué de deux parcelles : une parcelle Push-pull et une parcelle témoin. Les deux parcelles sont espacées d'au moins 50m l'une à l'autre et chacune des parcelles est installée sur une surface 900m² (30 m x 30 m). Dans la parcelle push-pull à 1 m de la haie de *Brachiaria*, le maïs est intercalé avec de l'arachide qui est planté entre les rangées de maïs. Le maïs est planté à un espacement inter et intra-rangée de 75 cm et 30 cm, respectivement, dans les deux parcelles de 30 m de côté chacune (Midega et al., 2015). Les rangées de l'arachide sont espacées de 75 cm. La haie de *Brachiaria* est plantée autour de cet intercalaire (du maïs et de l'arachide) à un espacement inter et intra-rangée de 75 cm et de 30 cm entre les rangées en suivant ou en correspondant avec l'alignement des rangées de l'arachide. Cette dernière est répétée sur trois rangées autour de l'intercalaires du maïs et de l'arachide. Au niveau de la parcelle témoin seul le maïs est semé respectivement sous un espacement inter et intra-rangée de 75 cm et 30 cm.

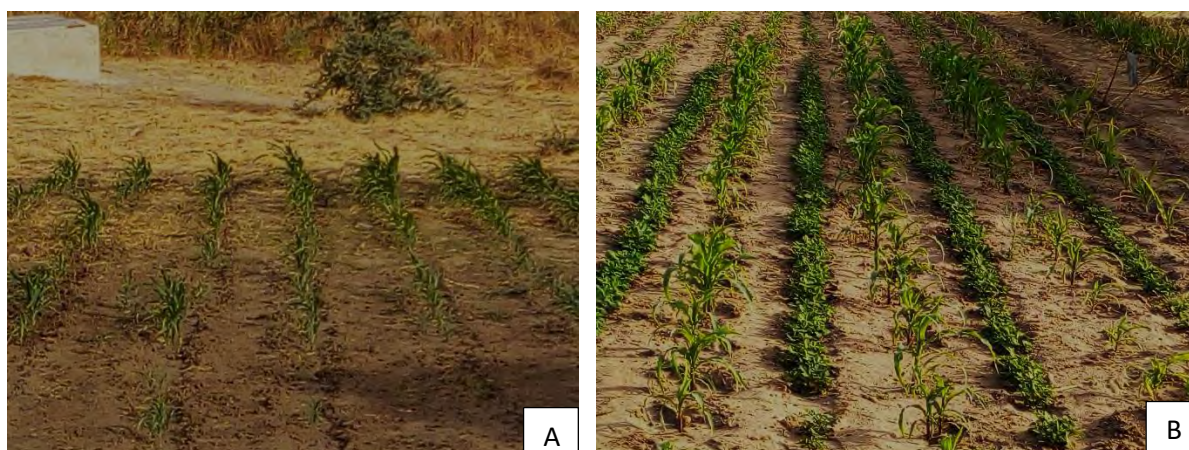


Figure 7 : Aménagement de la parcelle Témoin (A) et de la parcelle Push- pull(B)

II.3 Mode d'échantillonnage

Un échantillonnage hebdomadaire de Cinquante (50) plants dans chaque parcelle est effectué au hasard. Les plants de maïs sont examinés afin d'identifier les larves rencontrées (Goergen et al. 2016). Les ravageurs et les auxiliaires échantillonnés sont collectés et suivies au laboratoire jusqu'à leur émergence. Les dégâts des ravageurs sont notés. Pour les paramètres agronomiques, la hauteur du plant et le nombre d'épis sont prises à chaque sortie.



Figure 8 : Echantillonnage

Au laboratoire, les adultes des ravageurs et les parasitoïdes qui émergent des chenilles sont collectées dans des bocaux. Les dates de nymphose, d'émergence et de mortalité sont prises sur des fiches.



Figure 9 : Boîtes d'élevage des chenilles

Les données prises sur le terrain et au laboratoire ont été enregistrées sur le tableur Excel et traitées par le logiciel XLSTAT et des analyses de comparaison de moyennes ont été faites en utilisant le test de Newman-Keuls (SNK) au seuil 5%.

Chapitre III : RESULTATS ET DISCUSSION

III.1 Résultats

III.1.1 Effet de l'arachide (*Arachis hypogaea*) et du *Brachiaria* sp. sur la phénologie du maïs

Les paramètres tels que la hauteur et le nombre d'épis des plants de maïs sont utilisés pour évaluer l'effet de l'arachide et du *Brachiaria* sp sur la phénologie.

➤ Hauteur des plants

Les mesures de la hauteur des plants de maïs montrent une différence hautement significative entre les deux parcelles (DDL= 1 ; F= 48,187 ; P< 0,0001) (**Figure 10**).

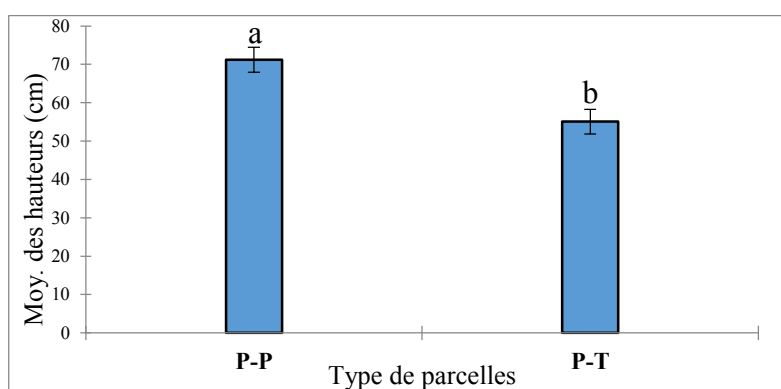


Figure 10 : Moyenne des hauteurs des plants de maïs en fonction des parcelles

En effet, la taille des plants de maïs de la parcelle Push-pull (PP) est supérieure à la taille des plants de maïs de la parcelle Témoin (PT).

➤ Nombre d'épis

Le décompte du nombre d'épis des plants de maïs montre une différence significative entre les deux parcelles (DDL= 1 ; F= 4,859 ; p= 0,028) (**Figure 11**).

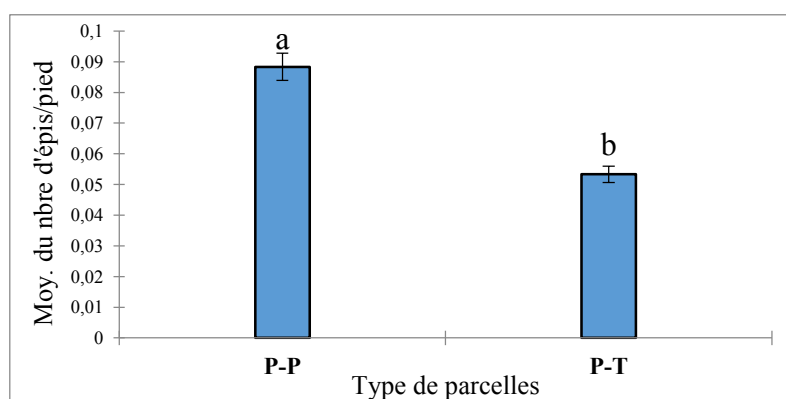


Figure 11 : Moyenne du nombre d'épis par pieds en fonction des parcelles

La parcelle Push-pull (PP) a donné beaucoup plus d'épis de maïs que la parcelle témoin (PT).

III. 1.2 Inventaire de la biodiversité entomologique associée à la culture du maïs
Plusieurs espèces d'insectes ont été répertoriées au niveau des parcelles de maïs (**Tableau 1**).

Tableau 1 : Diversité des espèces d'insectes dans les parcelles de maïs

Ordres	Familles	Espèces	Groupe fonctionnel
Lépidoptère	Pyrilidae	<i>Spodoptera frugiperda</i>	Ravageurs
		<i>Sesamia calamistis</i>	
Coléoptère	Staphylinidae	<i>Paederus</i> sp	Prédateurs
	Coccinellidae	<i>Chilocorus nigrita</i>	
		<i>Hippodamia convergens</i>	
	Carabidae	<i>Anthia sulcata</i>	
Hémiptère	Miridae	<i>Nesidiocoris tenuis</i>	
		<i>Creontiades pallidus</i>	
Hyménoptère	Pentatomidae	<i>Nezara viridula</i>	
	Formicidae	<i>Camponotus sericeus</i>	
	Guêpes	<i>Belonogaster juncea</i>	
Arachnide	Arachnide	Araignée	Parasitoïdes
Diptère	Syrphidae	<i>Ischiodon aegyptius</i>	
Dermaptère	Forficules	<i>Doru luteipes</i>	
		<i>Euborellia annulipes</i>	
Hyménoptère	Eulophidae	<i>Colpoclypeus florus</i>	
	Braconidae	<i>Cotesia sesamia</i>	

En effet, deux ravageurs ont été identifiés dans les parcelles de maïs (*S. frugiperda* et *S. calamistis*), beaucoup de prédateurs et deux parasitoïdes à savoir *C. florus* et *C. sesamia*.

III.1.3 L'effet de l'arachide (*Arachis hypogaea*) et du *Brachiaria* sp sur le contrôle naturel des ravageurs du maïs

➤ **Abondances des espèces d'insectes dans la culture de maïs**

L'effectif des insectes par groupe fonctionnel au niveau des parcelles est représenté dans le tableau ci-dessous (**Tableau 2**).

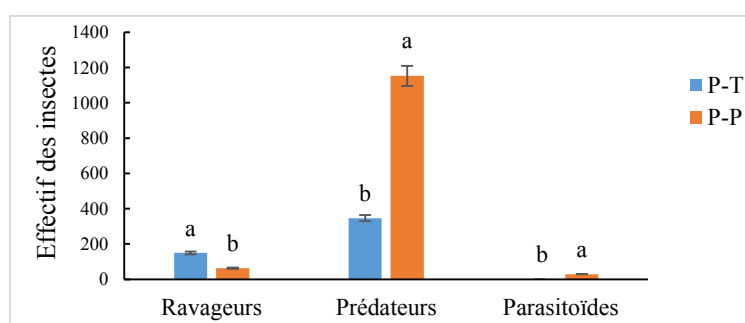
Tableau 2 : Abondance des espèces d'insectes au niveau des parcelles

Groupe fonctionnel	Espèces	Nombres	
		Témoin	Push pull
Ravageurs	<i>Spodoptera frugiperda</i>	85	37
	<i>Sesamia calamistis</i>	64	26
	<i>Paederus</i> sp	9	22
Prédateurs	Coccinelles	1	386
	Carabidées	35	88
	Punaises	29	70
	Fourmis	129	243
	Guêpes	52	138
	Araignées	73	114
	<i>Ichyodon aegyptius</i>	0	62
	Forficules	27	51
	<i>Colpoclypeus florus</i>	0	28
	<i>Cotesia sesamia</i>	0	1

Le nombre d'individus du ravageur *S. frugiperda* est plus important que celui de *S. calamistis* dans les deux parcelles. Parmi les prédateurs rencontrés le nombre de coccinelles est largement le plus important. Les syrphes sont uniquement présents dans la parcelle Push-pull. Aucune espèce de parasitoïde n'est récoltée dans la parcelle Témoin. De manière générale, la biodiversité entomologique est plus importante dans la parcelle push-pull.

➤ Nombre d'insectes par groupe fonctionnel en fonction des parcelles

L'effectif des insectes en groupe fonctionnel en fonction des parcelles est représenté sur la figure ci-dessous (**Figure 12**).

**Figure 12 : Effectif des insectes en fonction des parcelles**

La variation des populations d'insectes en fonction des deux parcelles montre une différence hautement significative au sein des groupes fonctionnels. En effet, les ravageurs sont beaucoup plus nombreux dans la parcelle Témoin que dans la parcelle Push-pull (DDL= 1 ; F= 23,192 ; $p < 0,0001$). Le nombre de prédateurs et de parasitoïdes de la parcelle Push-pull est largement supérieur à celui de la parcelle Témoin respectivement (DDL= 1 ; F= 194,704 ; $p < 0,0001$) ; (DDL= 1 ; F= 30,422 ; $p < 0,0001$).

➤ Contrôle naturel des ravageurs par les ennemis naturels

L'impact des ennemis naturels sur les ravageurs dans les parcelles de maïs a été évalué et représenté dans les figures suivantes (**Figure 13**).

Au niveau de la parcelle push-pull, nous observons un contrôle total des ravageurs par les ennemis naturels durant toute la période de culture. Par contre au niveau de la parcelle Témoin de la première à la huitième sortie, nous avons une gestion partielle des ravageurs par les ennemis naturels. Cependant, nous constatons une régulation des ravageurs à partir de la huitième sortie.

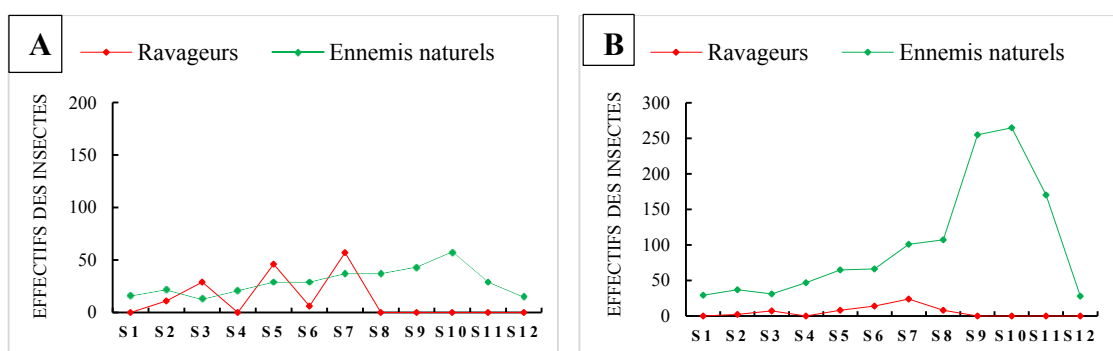


Figure 13 : Contrôle naturel des ravageurs dans la parcelle Témoin (A) et dans la parcelle Push-pull (B)

III.1.4 Evaluation du rendement des deux parcelles

La comparaison du rendement de maïs entre les deux parcelles montre une différence hautement significative des moyennes des poids d'épis de maïs ($DDL=1$; $F=27,886$; $p<0,0001$).

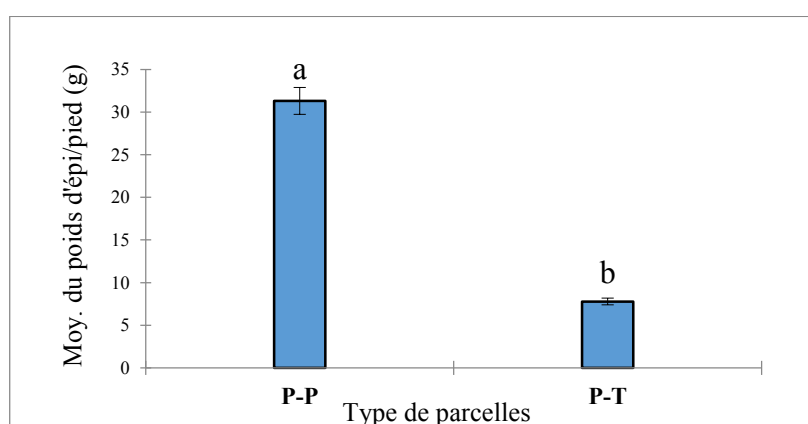


Figure 14: Moyennes du poids des épis de maïs en fonction des parcelles

En effet, le rendement de la parcelle Push-pull est largement supérieur à celui de la parcelle témoin (**Figure 14**). Autrement dit le rendement de la parcelle push-pull est plus de trois fois supérieur à celui de la parcelle témoin.

III.2 Discussion

Les résultats montrent que l'association de l'arachide avec le *Bracharia* sp dans la culture du maïs augmente le développement végétatif des plants. En effet, la parcelle associée (PP) présente des plants plus développés en taille et en nombre d'épis. L'arachide est une légumineuse qui améliore le sol en augmentant sa fertilité, sa biodiversité et son humidité. Les légumineuses abritent des bactéries symbiotiques fixatrices d'azote dans les nodules racinaires (Anjara, 2015). La plupart des plantes ont besoin d'azote disponible pour leur phénologie (Jeuffroy et al., 2013). Les légumineuses en association avec les plants leur fournissent de l'azote nécessaire à leur croissance (Vertes et al., 2015). En plus de l'azote disponible, les légumineuses comme le *Desmodium* sont efficaces dans la fixation de nitrogènes et sont capables d'en fixer plus de 300 kg par année dans des conditions optimales (Grama and Khelifi, 2008). L'efficacité de l'arachide dans la fertilisation du sol est une alternative à l'utilisation des engrais chimiques azotés. Pour l'amélioration de la biodiversité de la faune du sol, les légumineuses favorisent par leur présence le développement des microorganismes. En effet, l'assimilation de l'azote au niveau des nodules racinaires se fait grâce à des bactéries symbiotiques (NirinaAndrianina, 2014). Les microorganismes et les arthropodes du sol sont des agents qui améliorent la productivité et la santé des sols (Altieri et Nicholls, 2003). Par conséquent, ces agents contribuent à l'amélioration agronomique de la texture du sol (Traore, 2020). L'arachide en tant que plant de couverture contribue à la préservation de l'humidité du sol (Hyppolite, 2017). Mise en intercalaire, c'est une culture très bénéfique pour les agriculteurs sans compter l'apport de son rendement.

Le nombre de chenilles (*S. frugiperda* et *S. calamistis*) et les dégâts de la culture de maïs au niveau de la parcelle Push-pull sont nettement plus faibles que ceux dans la parcelle Témoin. Ces résultats corroborent avec ceux obtenus par Midega et al. (2018) en Afrique de l'Est (Kenya, Tanzanie et Ouganda). La diversité culturelle et la grande biodiversité des ennemis naturels au niveau de la parcelle push-pull comparé à la monoculture de maïs de la parcelle Témoin pourrait expliquer ce résultat. En effet, la présence de plusieurs cultures dans une parcelle perturbe ou trompe le ravageur en lui offrant plusieurs choix d'attaques au lieu d'infester uniquement la culture principale (Khan et al., 2010). Les plantes produisent chacune des composées volatiles qui attirent spécifiquement ou généralement les ravageurs (Prasanna et al., 2018). Les plantes-pièges tel que le *Bracharia* produit des quantités beaucoup plus élevées de composés attractifs que le maïs et le sorgho (Birkett et al. 2006). Cependant, les *Bracharia* sp sont préférables au maïs pour la ponte, alors que l'alimentation et la survie des larves de stemborer sur *Bracharia* cv mulato sont minimales (Midega et al. 2011). Du coup, la propriété

de cette herbe est une qualité utile d'une plante piège en bordure pour la gestion des insectes nuisibles de deux manières: il garantit une mortalité significative des larves de stemborers nuisibles et permet ainsi une réduction naturelle de la population d'organismes nuisibles. Par contre, au niveau de la parcelle Témoin les ravageurs sont attirés sans distraction au niveau de la monoculture de maïs. En plus, la faible fertilité du sol dans la parcelle Témoin augmente la vulnérabilité de la monoculture aux ravageurs biotiques (Abdulet et al. 2012).

La biodiversité ou le nombre d'ennemis naturels (parasitoïdes et prédateurs) de la parcelle Push-pull est largement supérieurs à celle ou celui de la parcelle Témoin. La diversité culturale dans la parcelle Push-pull correspond à un environnement ou agroécosystème favorable aux insectes et attire particulièrement les insectes utiles (Lamy, 2016). Les plantes libèrent chacune des composées volatiles qui attirent spécifiquement ou généralement les ennemis naturels (Niyibizi Gakuru, 2020). La parcelle associée (PP) attire plus d'insectes bénéfiques, en particulier, quand des cultures en floraison sont incluses dans le système de production (FAO, 2018). En effet, comme le *Desmodium*, l'arachide libérerait des composés volatiles ou substances sémiochimiques attractives qui attirent les entomophages spécifiques aux foreurs une fois la plante menacée. Les composés tels que l'ocimène et le nonatriène sont des produits sémiochimiques sécrétés lors que les plantes de maïs sont endommagées par des insectes herbivores (ROUABAH, 2008). Les femelles de *Cotesia sesamiae*, dont les larves parasitent les foreurs de tiges, sont particulièrement bien attirées par le nonatriène (Kfir et al. 2002). La présence de certains ravageurs de la culture attirerait particulièrement certains ennemis naturels. Les coccinelles sont attirées particulièrement par les pucerons (Francis, 2003). En effet, la présence des coccinelles au niveau de la parcelle Push-pull se justifierait par l'infestation de l'arachide par les pucerons.

Par conséquent, au niveau de la parcelle Push-pull nous avons un contrôle total des ravageurs par les ennemis naturels. Alors qu'au niveau de la parcelle Témoin la gestion des ravageurs par les ennemis naturels est partielle. En réalité, c'est la grande biodiversité d'ennemis naturels qui règnent au niveau de la parcelle Push-pull qui régule très rapidement la population des ravageurs à chaque fois qu'elle apparaisse. Contrairement à ce que disent les publications de Khan et al. (2000 ; 2014b), Hassanali et al. (2007), ICIPE (2005) que les foreurs de tiges sont contrôlées par des substances sémiochimiques répulsives émises par le *Desmodium*. Autrement dit, que ces substances sémiochimiques contrôlent les ravageurs en les repoussant de la culture principale (maïs). Cependant, au niveau de la parcelle Témoin le nombre d'ennemis naturels n'est pas suffisant pour faire disparaître entièrement la population des ravageurs lors de leurs pullulations.

Le rendement en maïs de la parcelle Push-pull est largement supérieur celui de la parcelle Témoin. Autrement dit, le rendement au niveau de la parcelle push-pull est plus de trois fois supérieure à celui de la parcelle témoin. Ce résultat pourrait s'expliquer d'une part, par la biodiversité végétale notamment avec l'arachide qui est une légumineuse augmentant la fertilité du sol. Par conséquent, ce qui entraîne une augmentation des ressources nutritifs pour les plants et leurs donnant ainsi les meilleurs qualités phénologiques. D'autre part, par le contrôle efficace des ravageurs par la grande biodiversité des ennemis naturels ou par la plante attrayante (*Bracharia* sp). En effet, c'est l'augmentation de la fertilité des sols ou la préservation de l'humidité par l'arachide et le contrôle parfait des ravageurs par les ennemis naturels qui justifieraient l'écart du rendement entre la parcelle Push-pull et la parcelle Témoin (Midega et al. 2014a). En outre, la technologie Push-pull aurait une influence considérable sur la hauteur des pieds de maïs et sur le rendement du maïs qui se verraient respectivement augmenter de 103 à 500% comparé à une monoculture de maïs (Khan et al. 2006).

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

L'évaluation de l'effet de l'arachide et d'une plante fourragère sur la phénologie et la biodiversité entomologique du maïs a montré beaucoup d'aspects positifs ou d'avantages. En effet, nos résultats démontrent que cette technologie est très efficace pour lutter contre les organismes nuisibles (les foreurs de tiges) et améliore significativement le rendement en maïs de façon concomitante. Par conséquent, le rendement de la parcelle Push-pull est plus de trois fois supérieure à celui de la parcelle témoin. En réalité, elle offre une très grande biodiversité d'auxiliaires qui contrôlent complètement les ravageurs (*S. frugiperda* et *S. calamistis*). Le système push-pull a des avantages supplémentaires en termes de fertilité du sol qui agit sur les paramètres de croissance comme la phénologie du maïs mais aussi en termes de rendement en graines d'arachides et en foin utilisé comme herbe fourragère pour le bétail.

A l'issue de notre étude et vu nos résultats, nous proposons, pour des travaux futurs, des essais en milieu paysan pendant l'hivernage dans un grand spectre.

Reproduire la même étude sur d'autres céréales comme le sorgho et le mil devrait être faite en vue de connaître les effets de la méthode Push-pull sur ces dernières.

Faire des études à savoir qu'elle serait l'impact de la technologie sur le rendement de l'arachide par rapport à une monoculture d'arachide.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Andrews (1988).** Latin american research on *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). Fla. Entomol 71, 630–653.
- Anjara, T.G. (2015).** Impacts de l'inoculation du haricot vert nain avec des bacteries symbiotiques fixatrices d'azote sur le fonctionnement microbien du sol de culture. universite d'antananarivo.
- Abdul, K., Chemining'wa, G.N., Onwonga, R.N., 2012.** Relationships between agro-nomic practices, soil chemical characteristics and striga reproduction in dryland areas of Tanzania. J. Agric. Sci. Technol. 2, 1134–1141.
- Alam, M.M. (1978).** Attempts at the Biological Control of Major Insect Pests of Maize in Barbados, WI.
- Almohammad, M.S., Salama, G.I., and Mahmoud, T.A. (2012).** Human identification system based on feature level fusion using face and gait biometrics. In Engineering and Technology (ICET), 2012 International Conference On, (IEEE), pp. 1–5.
- Altieri, M.A., Nicholls, C.I., 2003.** Soil fertility management and insect pests: harmonizing soil and plant health in agroecosystems. Soil Tillage Res. 72, 203–211.
- Altieri, M.A., and Letourneau, D.K. (1982).** Vegetation management and biological control in agroecosystems. Crop Prot. 1, 405–430.
- Binette (2018).** *Desmodium adscendens* pour soigner le foie : plantation, culture.
- Bohorova, N., Cabrera, M., Abarca, C., Quintero, R., Maciel, A.M., Brito, R.M., Hoisington, D., and Bravo, A. (1997).** Susceptibility of four tropical lepidopteran maize pests to *Bacillus thuringiensis* CryI-type insecticidal toxins. J. Econ. Entomol. 90, 412–415.
- Bourguet, D., Bethenod, M.T., Trouve, C., and Viard, F. (2000).** Host–plant diversity of the European corn borer *Ostrinia nubilalis*: what value for sustainable transgenic insecticidal Bt maize? Proc. R. Soc. Lond. B Biol. Sci. 267, 1177–1184.
- Brévault, T., Ndiaye, A., Badiane, D., Bal, A.B., Sembène, M., Silvie, P., and Haran, J. (2018).** First records of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae), in Senegal. Entomol. Gen. 37, 129–142.
- Birkett MA, Chamberlain K, Khan ZR, Pickett JA, Toshova T, Wadhams LJ, Woodcock CM. 2006.** Electrophysiological responses of the lepidopterous stem borers *Chilo partellus* and *Busseola fusca* to volatiles from wild and cultivated host plants. Journal of Chemical Ecology 32, 2475–2487.
- Chiba, Y. (2017).** 2. Dispersion affolante, capacité de nuisance de la chenille et impact sur la sécurité alimentaire. 5.
- Coles, W. (2018).** CABI warns of rapid spread of crop-devastating fall armyworm across Asia.
- Cook, S.M., Khan, Z.R., and Pickett, J.A. (2007).** The Use of Push-Pull Strategies in Integrated Pest Management. Annu. Rev. Entomol. 52, 375–400.
- Cortesero, A-M., Thibout, E., 2004.** Des insectes gardiens de plantes. La Recherche. 380, 54-58.
- FAO., 2011.** The Status of Food Insecurity in the World. Food and Agriculture Organization, Rome, Italy.

FAO (2017a). Produire plus avec moins en pratique: le maïs, le riz, le blé.

FAO (2017b). Enhancing the fight against Fall Armyworm in Kenya | FAO in Kenya | Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Farinós, G.P., De La Poza, M., Hernández-Crespo, P., Ortego, F., and Castañera, P. (2004). Resistance monitoring of field populations of the corn borers *Sesamia nonagrioides* and *Ostrinia nubilalis* after 5 years of Bt maize cultivation in Spain. *Entomol. Exp. Appl.* 110, 23–30.

Ferrer, F. (2001). Biological control of agricultural insect pests in Venezuela; advances, achievements, and future perspectives. *Biocontrol News Inf.* 22, 67N–74N.

Francis, F. (2003). Interactions tritrophiques: étude du modèle Brassicaceae-pucerons-coccinelle prédatrice. FUSAGx, Gembloux, Belgique.

Girma, H., Rao, M.R., and Sithanantham, S. (2000). Insect pests and beneficial arthropods population under different hedgerow intercropping systems in semiarid Kenya. *Agrofor. Syst.* 50, 279–292.

Goergen, G., Kumar, P.L., Sankung, S.B., Togola, A., and Tamò, M. (2016). First Report of Outbreaks of the Fall Armyworm *Spodoptera frugiperda* (J E Smith) (Lepidoptera, Noctuidae), a New Alien Invasive Pest in West and Central Africa. *PLOS ONE* 11, e0165632.

Grama, B.S., and Khelifi, D. (2008). Utilisation des techniques d'électrophorèse pour l'identification et l'étude de la diversité de Rhizobiums. Constantine: Université Mentouri Constantine.

Hassanali, A., Herren, H., Khan, Z.R., Pickett, J.A., Woodcock, C.M, 2007. Integrated pest management : the push-pull approach for controlling insect pests and weeds of cereals, and its potential for other agricultural systems including animal husbandry. *Philosophical Transactions of The Royal Society.* 363, 611-621.

Hutchison, W.D., Burkness, E.C., Mitchell, P.D., Moon, R.D., Leslie, T.W., Fleischer, S.J., Abrahamson, M., Hamilton, K.L., Steffey, K.L., and Gray, M.E. (2010). Areawide suppression of European corn borer with Bt maize reaps savings to non-Bt maize growers. *Science* 330, 222–225.

Hyppolite, M. (2017). Utilisation du pois d'Angole pérenne (*Cajanus cajan*) en système agroforestier, pour une meilleure conservation des sols de Lalouère (4e section communale de St Marc, Haïti) sous culture d'arachide (*Arachis hypogaea*).

International Food Biotechnology council (2016). 1990 Report on Biotechnology | ILSI.

ICIPE, 2004-2005. Habitat Management Strategies for Control of Stemborers and Striga Weed in Cereal-Based Farming Systems. Biennial Scientific Report. p. 42-48.

James, B., Atcha-Ahowé, C., Godonou, I., Baimey, H., and Goergen, G. (2012). Gestion intégrée des nuisibles en production maraîchère : Guide pour les agents de vulgarisation en Afrique de l'Ouest. 125.

Jean, C., Boisclair, J., Jean, C., and Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (2009). Les insectes nuisibles et utiles du maïs sucré: mieux les connaître (Québec: Institut de recherche et de développement en agroenvironnement).

Jeuffroy, M.-H., Gate, P., Machet, J.-M., and Recous, S. (2013). Gestion de l'azote en grandes cultures: les connaissances et outils disponibles permettent-ils de concilier exigences agronomiques et environnementales? *Cah. Agric.* 22, 249–257.

Johnson, S.J. (1987b). Migration and the life history strategy of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* in the western hemisphere*. *Int. J. Trop. Insect Sci.* 8, 543–549.

Kfir, R., Overholt, W.A., Khan, Z.R., Polaszek, A., 2002. Biology and management of economically important Lepidopteran cereal stem borers in africa. *Annual Review of Entomology.* 47, 701-731.

Khan, Z., Midega, C., Pittchar, J., Pickett, J., and Bruce, T. (2011). Push—pull technology: a conservation agriculture approach for integrated management of insect pests, weeds and soil health in Africa: UK government's Foresight Food and Farming Futures project. *Int. J. Agric. Sustain.* 9, 162–170.

Khan, Z.R., Midega, C.A.O., Bruce, T.J.A., Hooper, A.M., Pickett, J.A., 2010. Exploiting phytochemicals for developing a push–pull crop protection strategy for cereal farmers in Africa. *J. Exp. Bot.* 61, 4185–4196.

Khan, Z.R., James, D.G., Midega, C.A., and Pickett, J.A. (2008). Chemical ecology and conservation biological control. *Biol. Control* 45, 210–224.

Khan, Z., Amudavi, D., Pickett, J., 2008. Push-Pull Technology Transforms Small Farms in Kenya. *North America Magazine.* 20-21.

Khan, Z.R., Pickett, J.A., Wadhams, L.J., Hassanali, A., Midega, C.A.O., 2006. Combined control of *Striga hermonthica* and stem borers by maize–*Desmodium* spp. intercrops. *Crop Protection.* 25, 989–995.

Khan, Z.R., Hassanali, A., Overholt, W., Khamis, T.M., Hooper, A.M., Pickett, J.A., Wadhams, L.J., Woodcock, C.M., 2002. Control of witchweed *Striga hermonthica* by intercropping with *Desmodium* spp. and the mechanism defined as allelopathic. *Journal of Chemical Ecology.* 28(9), 1871-1885.

Khan, Z.R., Pickett, J.A., Wadhams, L., Muyekho, F., 2001. Habitat management strategies for the control of cereal stem borers and striga in maize in Kenya. *Insect Science and Its Application.* 21(4), 375–380.

Khan, Z.R., Pickett, J.A., Berg, J. van den, Wadhams, L.J., and Woodcock, C.M. (2000). Exploiting chemical ecology and species diversity: stem borer and striga control for maize and sorghum in Africa. *Pest Manag. Sci. Former. Pestic. Sci.* 56, 957–962.

Kruger, M., Van Rensburg, J.B.J., and Van den Berg, J. (2012). Transgenic Bt maize: farmers' perceptions, refuge compliance and reports of stem borer resistance in South Africa. *J. Appl. Entomol.* 136, 38–50.

Lamy, F. (2016). Comprendre et manipuler la communication entre les plantes et les insectes pour protéger les cultures: vers l'élaboration d'une stratégie «Push-Pull» pour lutter contre la mouche du chou (*Delia radicum*). Rennes 1.

Leroux, P. (2003). Modes d'action des produits phytosanitaires sur les organismes pathogènes des plantes. *C. R. Biol.* 326, 9–21.

- Malvar, R.A., Cartea, M.E., Revilla, P., Ordás, A., Alvarez, A., and Mansilla, J.P. (1993).** Sources of resistance to pink stem borer and European corn borer in maize. *Maydica* 38, 313–319.
- Mannuci, M.A. (2013).** *Espèces_quarantaine_pdf(8).pdf*.
- Mench, M., and Baize, D. (2004).** Contamination des sols et de nos aliments d'origine végétale par les éléments en traces. *Courr. Environ. INRA* 52, 31–56.
- Midega, C.A.O., Khan, Z.R., Pickett, J.A., Nylin, S., 2011.** Host plant selection in *Chilopartellus* and its implication for effectiveness of a trap crop. *Entomol. Exp. Appl.* 138, 40–47.
- Midega, C.A.O., Salifu, D., Bruce, T.J., Pittchar, J., Pickett, J.A., Khan, Z.R., 2014a.** Cumulative effects and economic benefits of intercropping maize with food legumes on *Striga hermonthica* infestation. *Field Crops Res.* 155, 144–152.
- Midega, C.A., Bruce, T.J., Pickett, J.A., Pittchar, J.O., Murage, A., and Khan, Z.R. (2015).** Climate-adapted companion cropping increases agricultural productivity in East Africa. *Field Crops Res.* 180, 118–125.
- Midega, C.A., Pittchar, J.O., Pickett, J.A., Hailu, G.W., and Khan, Z.R. (2018).** A climate-adapted push-pull system effectively controls fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (JE Smith), in maize in East Africa. *Crop Prot.* 105, 10–15.
- Niyibizi Gakuru, P. (2020).** Associations végétales pour le contrôle des ravageurs: D'une synthèse des approches théoriques à l'application pratique.
- NirinaAndrianina, R. (2014).** Effet de la fertilisation du sol sur la dynamique des bactéries symbiotiques fixatrices d'azote et des champignons endomycorhiziens. UNIVERSITE D'ANTANANARIVO.
- Ong'amo, G.O., Le Rü, B.P., Dupas, S., Moyal, P., Calatayud, P.-A., and Silvain, J.-F. (2006).** Distribution, pest status and agro-climatic preferences of lepidopteran stem borers of maize in Kenya. In *Annales de La Société Entomologique de France*, (Taylor & Francis), pp. 171–177.
- Penagos, D.I., Magallanes, R., Valle, J., Cisneros, J., Martinez, A.M., Goulson, D., Chapman, J.W., Caballero, P., Cave, R.D., and Williams, T. (2003).** Effect of weeds on insect pests of maize and their natural enemies in southern Mexico. *Int. J. Pest Manag.* 49, 155–161.
- Perfecto, I. (1991).** Ants (Hymenoptera: Formicidae) as natural control agents of pests in irrigated maize in Nicaragua. *J. Econ. Entomol.* 84, 65–70.
- Pons, X., Lumbierres, B., Lopez, C., and Albajes, R. (2005).** Abundance of non-target pests in transgenic Bt-maize: A farm scale study. *Eur. J. Entomol.* 102, 73.
- Prasanna, B.M., Huesing, J.E., Eddy, R., and Peschke, V.M. (2018).** La chenille légionnaire d'automne en Afrique: un guide pour une lutte intégrée contre le ravageur (CIMMYT).
- Ratnadass, A., Fernandes, P., Avelino, J., Habib, R., 2009.** Optimization of plant diversity for sustainable management of crop pests and diseases in agroecosystems. *Agron. Soumise à Sust. Dev.*

R Mwesigwa, J M Kabirizi, R Kajobe, N W Nanyenya, and S Mugerwa (2015). Multiplication of *Brachiaria* hybrid cv. Mulato planting materials for livestock productivity enhancement (Short communication).

ROUABAH, A. (2008). Comportement du parasitoïde *Lysiphlebus testaceipes* (Cresson, 1880)(Hymenoptera: Aphidiidae) vis-à-vis de *Myzus persicae* (Sulzer, 1776)(Homoptera: Aphididae) sur cinq variétés de pomme de terre *Solanum tuberosum* L. INA.

Sene, S., Diop, O., Diouf, A.F., Bah, M., Malou, J.R., Gueye, E.H.M., Diatta, A.F., Dansokho, M., Tall, A.M., Faye, A., et al. (2014). COMITE DE LECTURE ET DE CORRECTION. 11.

Schiavon, M., Perrin-Ganier, C., and Portal, J. (1995). La pollution de l'eau par les produits phytosanitaires : état et origine. *Agronomie* 15, 157–170.

Sharanabasappa, Kalleshwaraswamy, C.M., Maruthi, M.S., and Pavithra, H.B. (2018). Biology of invasive fall army worm *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) on maize. *Indian J. Entomol.* 80, 540.

Silva, R.B., Cruz, I., Zanuncio, J.C., Figueiredo, M.L.C., Canevari, G.C., Pereira, A.G., and Serrão, J.E. (2013). Biological aspects of *Eriopis connexa* (Germar) (Coleoptera: Coccinellidae) fed on different insect pests of maize (*Zea mays* L.) and sorghum [*Sorghum bicolor* L. (Moench.)]. *Braz. J. Biol.* 73, 419–424.

Swarup, N., and Manzo, S. (2015). Apparatus and method of user interface with alternate tool mode for robotic surgical tools.

Thirion, M.-C., and Simon, D. (2011). Les Cultures vivrières pluviales en Afrique de l'Ouest et du Centre.

Traore, K.M. (2020). Performance agronomique et santé du sol dans divers itinéraires agronomiques lors de la transition biologique en grandes cultures au Québec.

Vertes, F., Jeuffroy, M.-H., Louarn, G., Voisin, A.-S., and Justes, E. (2015). Légumineuses et prairies temporaires: des fournitures d'azote pour les rotations. *Fourrages* 223, 221–232.

Wang, Z.-Y., He, K.-L., Zhang, F., Lu, X., and Babendreier, D. (2014). Mass rearing and release of *Trichogramma* for biological control of insect pests of corn in China. *Biol. Control* 68, 136–144.

Warui, C.M., and Kuria, J.N. (1983). Population incidence and the control of maize stalk-borers *Chilo partellus* (Swinh.), *C. orichalcociliellus* Strand and *Sesamia calamistis* Hmps, in Coast Province, Kenya. *Int. J. Trop. Insect Sci.* 4, 11–18.

ANNEXE :

Tableau 3 : Illustration des principaux des ennemis naturels des deux parcelles (en annexe)

