



istom

ISTOM

Ecole d'Ingénieur en Agro-Développement International

32, Boulevard du Port F.-95094 - Cergy-Pontoise Cedex

tél : 01.30.75.62.60 télécopie : 01.30.75.62.61 istom@istom.net

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

**Les déterminants de la variabilité spatiale et temporelle
de la pression des pucerons et de leurs ennemis naturels
dans une région agricole du Kenya**



(Photographie de la zone d'étude : Kajulu, Kenya (Source : André, 2011))

SOUTENU EN SEPTEMBRE 2011

André Laure Vaitiare
Promotion 97

Stage réalisé à Kajulu, Kisumu, Kenya.
Ainsi qu'à Montpellier, France

Du 15/02/11 au 31/07/11
Au sein du CIRAD, URSCA.

Maîtres de stage : Pierre SILVIE et Pascal CLOUVEL
Tuteur de mémoire : Claire LAVIGNE, INRA Avignon



ISTOM

Ecole d'Ingénieur en Agro-Développement International

32, Boulevard du Port F.-95094 - Cergy-Pontoise Cedex

tél : 01.30.75.62.60 télécopie : 01.30.75.62.61 istom@istom.net

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

**Les déterminants de la variabilité spatiale et temporelle
de la pression des pucerons et de leurs ennemis naturels
dans une région agricole du Kenya**

SOUTENU EN SEPTEMBRE 2011

André Laure Vaitiare
Promotion 97

Stage réalisé à Kajulu, Kisumu, Kenya.
Ainsi qu'à Montpellier, France

Du 15/02/11 au 31/07/11
Au sein du CIRAD, URSCA.

Maîtres de stage : Pierre SILVIE et Pascal CLOUVEL
Tuteur de mémoire : Claire LAVIGNE, INRA Avignon

Résumés et mots clés en Français, Anglais et Espagnol

Résumé :

Cette étude est menée afin d'appréhender l'effet de la biodiversité et de l'hétérogénéité d'un paysage agricole à forte pression démographique à Kajulu, Kenya, sur un service écosystémique : la régulation naturelle des ravageurs. Le modèle biologique étudié est le haricot *Phaseolus vulgaris* et le niébé *Vigna unguiculata*, plantes vivrières majeures, les pucerons *Aphis fabae* et *Aphis craccivora*, ainsi que leurs ennemis naturels. Des tendances sont dégagées grâce à des observations entomologiques quantitatives et qualitatives, mises en relation avec le paysage à deux échelles : celle de sous-zones écologiques et celle des champs. Les données sont collectées dans le temps : au cours des cinq semaines de relevé durant la longue saison des pluies, et mis en perspective avec la perception des agriculteurs. Dix espèces de prédateurs sont identifiées, ainsi que six espèces de parasitoïdes de pucerons et un champignon entomopathogène. Un niveau trophique supérieur est mis en évidence par l'identification de parasitoïdes de prédateurs et de champignons entomopathogènes affectant les parasitoïdes de pucerons. La biodiversité entretenue par les agriculteurs dans cette région est fonctionnelle et permet bien une régulation naturelle.

Mots clés : biodiversité, paysage, haricot, niébé, pucerons, régulation naturelle, Kenya.

Summary :

This study is about the understanding of the impact of biodiversity and agricultural landscape complexity with a high demographic pressure, on the natural pest regulation ecosystem service, in Kajulu, Kenya. The biological model studied is: beans *Phaseolus vulgaris* and cowpeas *Vigna unguiculata*, among the main local food crops, the aphids *Aphis fabae* and *Aphis craccivora*, and their natural enemies. Data was collected during five weeks, in the long rain season. Tendencies are shown from quantitative and qualitative entomological observations, and put in perspective with the landscape at two scales: at ecological sub-zone scale and at field scale. They are contrasted with farmers' perspective. We identified ten species of predators, six species of aphid parasitoids, and an entomopathogenous fungi. A higher trophic level was shown with identification of predator parasitoids and a fungi on parasitoids. Our conclusion shows that biodiversity, maintained by farmers, is functional and allows natural regulation service.

Key words: biodiversity, landscape, bean, cowpeas, aphids, natural regulation, Kenya.

Resumen:

Este estudio se dedica en entender el efecto de la biodiversidad y de la heterogeneidad de un paisaje agrícola con una fuerte presión demográfica en Kajulu, Kenya, en un servicio ecosistémico : la regulación natural de los bioagresores. El modelo biológico estudiado es: las alubias *Phaseolus vulgaris* y *Vigna unguiculata*, entre los principales huertas locales, pulgones *Aphis fabae* y *Aphis craccivora*, y sus enemigos naturales. Tendencias están mostradas a partir de observaciones entomológicas cuantitativas y cualitativas, puestas en relación con el paisaje a dos escalas: la de sub-zonas ecológicas y la de los campos. Los datos están colectados durante cinco semanas, en la gran temporada de las lluvias y puestos en perspectiva con la percepción de los agricultores. Identificamos diez especies de depredadores, seis especies de parasitoides de pulgones y un hongo entomopatógono. Un nivel trófico mas alto esta puesto en evidencia por la identificación de parasitoides de depredadores y hongo en parasitoides. La biodiversidad mantenida por los agricultores en esta región es funcional, y permite la regulación natural de los bioagresores.

Palabras claves : biodiversidad, paisaje, alubias, pulgones, regulación natural, Kenya.

Sommaire

Résumés et mots clés en Français, Anglais et Espagnol	3
Table des illustrations.....	6
Liste des abréviations et des acronymes	9
Remerciements	10
Introduction	11
1 Historique du paysage et biophysique de la zone d'étude .	14
1.1 Un peu d'histoire...	14
1.1.1 Kenya et <i>Luo</i> , hier et aujourd'hui.....	14
1.1.2 Kisumu : position stratégique pour la couronne britannique	14
1.1.3 Kisumu aujourd'hui.....	16
1.1.4 L'agriculture pour les Luo : à peine un siècle d'histoire.....	16
1.2 Description biophysique de la zone d'étude.....	17
1.2.1 Un « paysage » institutionnel complexe	17
1.2.2 Une organisation foncière en transition	17
1.2.3 Kajulu, entre rural et péri-urbain.....	17
1.2.4 La zone d'étude à l'interface de différents écosystèmes : échelles emboîtées...	18
1.2.5 Mise en valeur des terres agricoles	19
1.2.6 Comment modes de vie et traditions modèlent une mosaïque paysagère	20
1.2.7 A l'échelle du champ : une variabilité temporelle et fonctionnelle	23
1.2.8 Explorer le paysage en accord avec la capacité de dispersion des insectes.	26
2 Le monde selon les agriculteurs	27
2.1 Les agriculteurs et leurs champs.....	28
2.1.1 Qui sont les agriculteurs enquêtés ?	28
2.1.2 Quelle est leur approche de la biodiversité ?.....	28
2.1.3 Association culturelle : pourquoi?.....	30
2.1.4 Le haricot : multiples fonctions.....	31
2.1.5 Perception des problèmes :.....	31
2.2 Les insectes, perçus par les agriculteurs	32
2.2.1 Connaissances des agriculteurs sur les ravageurs et les maladies, concernant notamment les pucerons.	32
2.2.2 Variabilité temporelle de l'infestation.....	33
2.2.3 Protection des cultures	34
2.2.4 Comment conçoivent-ils la pression ?	34
2.2.5 Perçoivent-ils la régulation naturelle ?.....	35
3 Observations entomologiques	36
3.1 Modèle biologique : haricots – pucerons – ennemis naturels.....	36
3.1.1 Pucerons : éléments de biologie et conséquences d'une infestation	36

3.1.2	Ennemis naturels : prédateurs, parasitoïdes et entomopathogènes	36
3.2	Hypothèses.....	39
3.3	Méthodes et dispositif.....	40
3.3.1	Choix des champs.....	42
3.3.2	Echantillonnage des plants dans le champ	45
3.3.3	Relevés de l'infestation et de la régulation naturelle	46
3.3.4	Observation des haies.....	47
3.3.5	Prélèvements et identification	47
3.3.6	Outils statistiques	48
3.4	Résultats de l'étude biométrique	49
3.4.1	Les haies: réservoirs à pucerons ?	49
3.4.2	D'autres réservoirs à pucerons ?	51
3.4.3	L'effet bordure sur l'infestation des pucerons	52
3.4.4	Infestation des pucerons : variabilité spatiale et temporelle	53
3.4.5	Les haies : un réservoir à prédateurs ?	56
3.4.6	Davantage de prédateurs lorsqu'il y a davantage de pucerons ?.....	57
3.4.7	Présence de prédateurs : variabilité spatiale et temporelle.....	58
3.4.8	Parasitisme de pucerons	61
3.4.9	Champignons entomopathogènes de pucerons	62
3.5	Résultats qualitatifs : identifications.....	62
3.5.1	Identification des pucerons.....	62
3.5.2	Identification des prédateurs des pucerons.....	63
3.5.3	Identification de parasitoïdes de prédateurs	65
3.5.4	Identification des parasitoïdes de pucerons.....	66
3.5.5	Identification des entomopathogènes	68
3.5.6	Diversité du complexe de régulation naturelle des pucerons, dans l'espace	69
4	Discussion	70
4.1	Confrontation de nos résultats aux données de la littérature	70
4.2	Perspectives	72
	Bibliographie :.....	75
	Table des annexes et annexes.....	82
	Lexique :.....	84

Table des illustrations

Sauf mention, toutes les illustrations (photographies, figures, tableaux) sont de l'auteur.

Photographie 2. Associations culturales dans les champs de Kajulu : a. Maïs-Haricot, b. Maïs-arachide, c. maïs-patate douce (2 variétés), d. maïs-haricot-arachide-patate douce.	24
Photographie 3. Variabilité des cultures sur une petite surface. Kajulu, Kenya, 2011.....	25
Photographie 5 : Trois différentes situations de champs à Kajulu, montrées aux agriculteurs lors de la 2 ^e réunion, Juin 2011. 1 : champs entourés de montagnes et avec de nombreuses haies et arbres ; 2 : champs en monoculture, sans éléments semi naturels ; 3 : champs en cultures associées, entouré de haies et d'arbres.	29
Photographie 6. La tige du maïs sert de tuteur au haricot, Kajulu, Kenya, 2011.	30
Photographie 7. Variétés locales de haricots (<i>Rosecoco</i> , <i>Wairimu</i> , <i>Opuodo</i> , <i>Saitotit</i> , <i>Pocho</i>) et niébé (<i>Boh</i>), Kajulu, Kenya, 2011.....	31
Photographie 8. Corps momifié d'un puceron dont le parasitoïde a émergé : le trou circulaire d'émergence est visible. Kajulu, Kenya.....	38
Photographie 9. Vue aérienne de Kajulu avec les champs suivis et les quatre sous-zones écologiques caractérisées. Les épingle jaunes symbolisent les champs suivis de façon hebdomadaire, les épingle rouges symbolisent les champs suivis de façon ponctuelle.	41
Photographie 10 Vue en plongée de la zone d'étude : Kajulu. Prise depuis le fond de la vallée à l'extrémité montagneuse nord, à gauche et à droite : les Nandi Hills, qui s'ouvrent progressivement tandis que le fond de la vallée, cultivé, s'élargit. Au loin, le lac Victoria. (Source : Google Earth 2011).....	41
Photographie 11. Comparaison des 4 sous-zones écologiques caractérisées à Kajulu.....	42
Photographie 12. Extrémité du champ n°17 : champ de maïs-haricot avec bananiers et napier (herbe à éléphant) plantés au sein du champ. Kajulu, Kenya, 2011.	43
Photographie 13 Exemple de montage d'une coccinelle <i>Harmonia axiridis</i> (non observée à Kajulu) par H. P. Aberlenc (source : Aberlenc, 2011, communication personnelle).....	48
Photographie 14. Les trois types de prédateurs distingués lors des relevés quantitatifs à Kajulu : de gauche à droite : larve de Coccinellidae du genre <i>Cheilomenes</i> , puis trois larves de Coccinellidae des genres <i>Scymnus</i> ou <i>Pullus</i> , enfin, deux larves de Syrphidae.	60
Photographie 15. Important parasitisme d'une colonie de pucerons sur maïs (9 pucerons visiblement parasités sur cette photo), dans un champ de la sous-zone écologique 1, le 15 Juin à Kajulu, Kenya, 2011	62
Photographie 16. Coccinelles adultes observées à Kajulu, identifiées, de gauche à droite : <i>Cheilomenes sulfuræa</i> (Olivier, 1791), <i>Exochomus</i> sp. et la coccinelle rouge à trois raies noires non identifiée.	64
Photographie 17. Nymphes de coccinelles parasitées, caractérisées par leur couleur noire et leur trou d'émergence lorsque les parasitoïdes sont sortis. Kajulu, Kenya, 2011.....	65
Photographie 18. Parasitoïde observé au microscope : Hyménoptère de la famille des Encyrtidae : <i>Syrphophagus ?negrocyanus</i> (Ashmead, 1904), taille réelle : 1,5mm. Kajulu, Kenya 2011.	66
Photographie 20. Hyménoptère de la famille des Braconidae présentant l'aspect d'un insecte mort de mycose. Kajulu, Kenya 2011.....	68
Figure 1. Carte du Kenya : Kisumu est entouré en Rouge, dans la Province de Nyanza. (Source : cartes du monde)	13
Figure 2. Carte générale de l'Afrique en 1889 : noter l'étendue de la colonie anglaise (en jaune) : du canal de Suez au lac Victoria (source : Nouveau Larousse illustré : 1898-1904).....	15
Figure 3. Carte du Kenya faisant ressortir les zones les plus densément peuplées, tel le district de Kisumu, au Nord du golfe de Winam (Source : Harre <i>et al.</i> , 2010).	16

Figure 4. La zone d'étude de Kajulu : à l'interface de différents agro-écosystèmes. Niveau 1. (fond de carte Google Map)	18
Figure 5. Description schématique de la zone d'étude : niveau 2. Kajulu, Kenya, 2011	19
Figure 6. Description schématique de la zone d'étude : niveau 3. Kajulu, Kenya 2011.	20
Figure 7. Schéma type d'une parcelle-type à Kajulu, 2011 (Source : l'auteur).....	21
Figure 8. Diagramme ombrothermique 2004, à partir des relevés de la station météorologique du KESREF, Kibos, Kenya.	23
Figure 10. Chaîne trophique du complexe d'arthropodes rencontré sur le haricot montrant les différents niveaux trophiques de régulation naturelle. La flèche en pointillé signale le lien d'hyperparasitisme facultatif.	39
Tableau 6. Surface, espèces suivies, espèces en association culturale, et autres espèces observées pour chaque champ suivi à Kajulu	45
Figure 12. Schéma du mode d'échantillonnage des plants de haricot observés au sein du champ, Kajulu, Kenya, 2011.....	46
Figure 13. Index d'infestation moyen des champs (tous champs et toutes dates confondues) en fonction de la présence de haies (16 champs) ou de l'absence de haies (11 champs) : moyennes et erreur standard de la moyenne. Kajulu, Kenya, 2011.	49
Figure 14. Index d'infestation moyen des champs (tous champs et toutes dates confondues), en fonction de l'espèce dominante dans la haie : Euphorbe (2 champs), Lantana (6 champs) ou Eucalyptus (4 champs) : moyennes et erreur standard de la moyenne. Kajulu, Kenya, 2011.	50
Figure 16. Index d'infestation moyen des plants en fonction de leur distance à la bordure, pour les champs avec haies (16 champs) et les champs sans haies (11 champs), toutes dates confondues. Kajulu, Kenya, 2011.	52
Figure 17. Index d'infestation moyen des champs dans l'ensemble de la zone d'étude, en fonction de la semaine de relevé : semaines de 1 à 5. Kajulu, Kenya, 2011.	53
Figure 18. Index d'infestation moyen des champs, pour chaque champ suivi hebdomadairement, à chaque relevé effectué à Kajulu, Kenya, 2011	54
Figure 19. Index d'infestation moyen des champs selon la sous-zone écologique, toutes dates confondues. Kajulu, Kenya, 2011	54
Figure 20. Index d'infestation moyen des champs en fonction des semaines de relevés, pour les quatre zones écologiques. Kajulu, Kenya, 2011	55
Figure 21. Nombre moyen de prédateurs par champ (tous champs et toutes dates confondues) en fonction de la présence de haies (16 champs) ou de l'absence de haies (11 champs). Kajulu, Kenya, 2011.	56
Figure 23. Nombre de prédateurs comptés par champ <i>versus</i> index d'infestation cumulée du champ. Un point représente un champ à une date. $R=0,550$. Analyse de covariance : pour un risque $\alpha = 0,05$ avec $n=51$, la valeur r seuil= $0,273$, $r=0,550$ et $r^2=0,302$. Kajulu, Kenya, 2011	58
Figure 24. Nombre moyen de prédateurs par champ, moyenne par semaine. Kajulu, Kenya, 2011	59
Figure 25. Nombre moyen de prédateurs par champ, moyenne par zone écologique. Kajulu, Kenya, 2011.	59
Figure 26. Cumul du nombre de prédateurs Coccinellidae <i>Cheilomenes</i> sp. et <i>Scymnus</i> sp., et Syrphidae comptés dans les champs, selon les zones écologiques à Kajulu, Kenya, 2011.	60
Figure 27. Cumul du nombre de prédateurs Coccinellidae <i>Cheilomenes</i> sp. et <i>Scymnus</i> sp., et Syrphidae comptés dans les champs, selon les semaines d'observation à Kajulu, Kenya, 2011.	61
Tableau 1. Haies: fonctions, noms vernaculaires et scientifiques. Kajulu, Kenya 2011.	22
Tableau 2. Calendrier culturel des principales cultures vivrières plantées à Kajulu, Kenya.	25
Tableau 3. Situation des agriculteurs enquêtés à Kajulu, Kenya, 2011.	28

Tableau 4. Nombre d'agriculteurs répondant à la question de la variabilité temporelle des infestations, selon leur situation spatiale. Kajulu, Kenya, 2011/	33
Tableau 5. Choix des champs, localisation et description. Kajulu, 2011.	44
Tableau 6. Surface, espèces suivies, espèces en association culturale, et autres espèces observées pour chaque champ suivi à Kajulu.....	45
Tableau 7. Classe des colonies de puceron en fonction du nombre de puceron.....	46
Tableau 8. Typologie des haies observées autour des champs sélectionnés. Kajulu, Kenya, 2011	47
Tableau 9. Plantes observées dans les haies de Kajulu et leurs pucerons associés potentiels, signalés en Afrique de l'Est.....	50
Tableau 10. Plantes observées dans les champs de Kajulu et leurs pucerons associés potentiels, signalés en Afrique de l'Est.	51
Tableau 11. Pucerons identifiés de la famille des Aphididae, et leur plante hôte, récoltés à Kajulu, Kenya, 2011.....	63
Tableau 12. Coccinellidae, Chrysopidae et Syrphidae prédateurs de pucerons, capturés, élevés et identifiés, Kajulu, Kenya, 2011	63
Tableau 13. Hyménoptères et Diptères parasitoïdes de Coccinellidae (<i>Cheilomense</i> sp.) et de Syrphidae.....	65
Tableau 14. Parasitoïdes et hyperparasitoïdes obtenus d'élevages de pucerons, leur puceron hôte, et leur plante hôte, à Kajulu, Kenya, 2011.	67

Liste des abréviations et des acronymes

CBGP : Centre de Biologie pour la Gestion des Populations

CIRAD : Centre International de Recherche Agronomique pour le Développement

COMESA : Common Market for the Eastern and Southern Africa

FAO : Food and Agriculture Organization of the United Nations

GIEC : Groupe Intergouvernemental pour l'Etude du changement Climatique

ha : hectare

hab./km² : habitants au kilomètre carré

ICIPE : African Insect Science for Food and Health

INRA : Institut National de la Recherche Agronomique

KARI : Kenyan Agricultural Research Institute

KESREF : Kenyan Sugar Research Institute Foundation

PAC :Politique Agricole Commune

Remerciements

Je tiens à adresser mes sincères remerciements à Miren, qui a été la meilleure des binômes de stage.

Je tiens également à adresser mes remerciements à Pierre Silvie, et Pascal Clouvel, des maîtres de stage hors pair, pour leur intérêt, leur soutien et leur patience. Je remercie aussi ma tutrice, Claire Lavigne (INRA), ainsi que Delphine Birman (CIRAD).

A Bernard Papierok (Institut Pasteur) et Henri-Pierre Aberlenc (CBGP) s'adressent mes remerciements pour m'avoir fait découvrir le monde des spécialistes passionnés.

Un grand merci aux systématiciens : Armelle Cœur D'Acier, Valérie Balmes et Jean-Claude Streito (CBGP) pour les pucerons, Henri-Pierre Aberlenc (CBGP) pour les coccinelles, Gérard Delvare (CBGP) pour les parasitoïdes de coccinelles, et B. Chaubet (Agrocampus Ouest) pour les parasitoïdes de pucerons, Bernard Papierok (Institut Pasteur) pour les champignons entomopathogènes. Merci pour leur gracieuse coopération.

Merci aux agriculteurs de Kajulu, qui nous ont accueillis souvent avec curiosité et empathie, et qui ont eu la patience de répondre à nos questions.

Je tiens également à remercier toutes les personnes avec qui j'ai eu le plaisir de travailler et d'échanger, à Nairobi : Bruno Le Rü et Pascal Campagne (IRD), toute l'équipe du labo de l'ICRPE : Leonard, Gerphas, Boas, Winnie... ainsi que Christian Borgemeister et Sunday Ekesi (ICRPE) ; *Erokamano* à Kisumu : Paul Omenge, notre cher interprète, Moses Omondi, Lawrence Owaga, ainsi que Steve Otieno, Volker Sospeter et Paul Otieno de l'ONG CADIF ; enfin à Montpellier: les secrétaires Liliane Declodt et Jocelyne Sallin.

Je voudrais aussi remercier Robert Habib, responsable de PERSYST, ainsi que Florent Maraux, directeur de URSCA, au CIRAD.

Introduction

Dans les pays industrialisés, la deuxième moitié du vingtième siècle a vu s'opérer une révolution des pratiques agricoles (Benton *et al.*, 2003). C'est à la suite d'orientations politiques et d'incitations économiques d'après-guerre (création de la FAO, mise en place de la PAC) ainsi que des progrès techniques de la pétro-chimie, que l'agriculture a connu un développement sans précédent. Cela s'est traduit par une extension de la surface cultivée et une rapide intensification par unité de surface, allant de pair avec une spécialisation pour une plus grande productivité : les cultures céréalières, oléagineuses ou protéagineuses dans les grandes plaines aux Etats-Unis en sont une image caractéristique.

Cette intensification de l'agriculture dans les pays industrialisés s'est accompagnée d'une simplification structurelle des paysages agricoles: simplification en termes de diversité végétale, dans les champs cultivés (monoculture) et autour des champs. La suppression des bosquets et bocages traditionnels en France est un exemple. Aujourd'hui, seulement 70 espèces sont cultivées dans le monde de l'agriculture moderne, et le nombre de variétés utilisées est très réduit (Altieri, 1999). La simplification du paysage agricole et la suppression progressive des milieux semi-naturels non cultivés sont en partie à l'origine d'une diminution importante et généralisée de la biodiversité dans les terres agricoles, et ce pour les plantes cultivées comme pour les espèces naturelles (Bianchi *et al.*, 2006).

Dans ce contexte d'intensification agricole, la biodiversité au sein des exploitations agricole des grands pays producteurs, s'est beaucoup réduite (Altieri, 1999). Le terme biodiversité fait référence à la diversité génétique (au sein de l'espèce), à la diversité des espèces de plantes, d'animaux et de micro-organismes, à la diversité des écosystèmes et même à la diversité des sociétés qui existent et qui sont en interaction avec les écosystèmes (Altieri, 1999). Elle a un rôle capital : au-delà de la production végétale, animale, de fibres, de carburant et autres sources de revenus qu'elle génère, la biodiversité rend des services écologiques tels que la stabilité structurale et la fertilité des sols, la régulation du microclimat local, ainsi que du cycle de l'eau, le contrôle biologique des bioagresseurs (Lavorel *et al.*, 2008, et Altieri, 1999). Cependant, la valeur productive de la biodiversité pour l'agriculture, à l'ordre du jour dans les programmes de recherche (ESCo de l'INRA, CESAB et BiodiVERsA de la Fondation pour la Recherche sur la Biodiversité, par exemple), est difficile à évaluer : les processus écologiques influençant la production agricole à l'échelle du paysage sont encore peu connus (Bourgeade *et al.*, 2010).

Contrairement aux paysages agricoles des pays du Nord, dominés par les cultures industrielles, les paysages du Sud où l'agriculture familiale prédomine sont souvent caractérisés par la polyculture. Sur les hauts plateaux kenyans, il s'agit d'une intensification agricole non pas en terme de surface, mais en terme de travail. Elle se traduit par une organisation du paysage agricole totalement différente et une biodiversité plus importante, à petite et à grande échelle (Benton *et al.*, 2003). Une importante diversification du système de production est en effet délibérément entretenue lors des processus d'intensification, à la fois comme stratégie de prévention des risques d'échec d'une des activités, comme moyen de lisser la demande en main d'œuvre dans le temps, et comme moyen de réduire l'incidence des bioagresseurs (Netting *et al.*, 1996 ; Conelly *et al.*, 2000 ; Altieri *et al.*, 1977).

En effet, la complexité du paysage agricole, allant de pair avec le maintien de la biodiversité et la diversification des systèmes de culture, serait facteur d'impacts positifs sur la réduction des populations phytophages ainsi que les processus de régulation naturelle de ces bioagresseurs (Altieri, 1999 ; Bianchi *et al.*, 2006 ; Bourgeade *et al.*, 2010). L'intérêt porté à cette régulation n'est pas nouveau (Hagen *et al.*, 1968), mais elle est maintenant au cœur des recherches, dans une perspective de limiter l'utilisation de substances chimiques,

nocives pour la santé humaine. L'influence du paysage sur les bioagresseurs est soit directe : les éléments paysagers peuvent constituer des barrières à la dispersion, des zones refuges ou des zones d'hibernation, soit indirecte, en favorisant ou en limitant les auxiliaires (Bourgeade *et al.*, 2000). En effet, un réseau de milieux semi-naturels (haies bosquets, rivières etc.) constitue un complexe de corridors, liant les habitats, ce qui permet d'augmenter la dispersion des ennemis naturels, et en conséquence, de stabiliser les populations de bioagresseurs (Altieri, 1999). A l'échelle de la parcelle, la polyculture représente un écosystème particulier pour les insectes, entraînant des interférences physiques telles que protection contre le vent, ombre, cachettes, changement de couleur ou du port, et des interférences biologiques telles des stimuli chimiques (Altieri, 1977).

De nombreux auteurs ont montré l'importance des espaces naturels ou semi naturels sur les processus de régulation biologique, en travaillant sur la comparaison entre les grandes monocultures à faible diversité végétale, et les zones agricoles entourées d'espaces naturels ou semi naturels, situées en Europe ou aux Etats-Unis (Landis *et al.*, 2000 ; Bianchi *et al.*, 2006 ; Brewer *et al.*, 2008 ; Roschewitz *et al.*, 2005 ; ou Thies *et al.*, 2005). Dans notre étude, une situation différente se présente : une zone de forte diversité caractérisée par un paysage agricole complexe avec un réseau dense de milieux semi-naturels, mais aussi par une diversité inter et intra parcellaire des zones cultivées.

Le terrain d'étude, Kajulu, est situé à la périphérie de la troisième ville du Kenya, Kisumu, en bordure du lac Victoria. La pression démographique y est importante et l'espace est limité par le relief: toute la surface cultivable est cultivée, et les produits chimiques contre les ravageurs en sont quasi absents. Cette zone est à l'interface entre différents écosystèmes : espaces semi naturels, plaine sucrière, ville ; et ce, sur une petite superficie, ce qui fait apparaître de forts contrastes. C'est dans ce référentiel aux caractéristiques jusqu'alors très peu étudiées que se situe le terrain de notre travail.

Ce sont les processus de régulation naturelle qui sont au cœur de nos recherches, en lien avec l'association culturale maïs-haricot qui est dominante dans cette région, mais aussi ailleurs dans le monde, bien qu'elle n'ait été que très partiellement étudiée (Altieri *et al.*, 1978). Dans ce système complexe d'agriculture de subsistance, on se pose la question de savoir quels sont les déterminants de la variabilité spatiale et temporelle de la pression des pucerons et de leurs ennemis naturels. Les effets des interactions entre haies et cultures en particulier sur les bioagresseurs et leurs ennemis naturels demeurent très peu étudiés et nécessitent plus de recherches (Girma *et al.*, 2000), et, bien que les publications ne manquent pas à propos du complexe pucerons - ennemis naturels, la zone géographique de l'Afrique de l'Est a été très peu étudiée à ce sujet.

Les travaux présentés dans ce mémoire se sont déroulés dans le contexte général du déploiement des activités du CIRAD vers l'Afrique de l'Est, par la mise en place d'une plateforme de recherche pour le Dispositif Prioritaire Afrique de l'Est. Mon stage de fin d'étude complète ainsi, au niveau biologique, le travail de thèse de Delphine Birman intitulé : "Mobilisation des savoirs locaux pour l'identification des services de l'agro-écosystème à l'échelle d'un terroir villageois : gestion de la fertilité et contrôle des bioagresseurs". Il s'est déroulé en parallèle à celui de Miren Harignordoquy (2011), sur le complexe des foreurs de tige du maïs et de leurs ennemis naturels. Ce stage s'est déroulé dans la province de Nyanza, district de Kisumu (Ouest Kenya), où nous avons travaillé avec l'ethnie Luo. (voir Figure 1).

Le stage de fin d'étude consistait donc à (i) fournir des données quantitatives et qualitatives en matière de variabilité spatiale et temporelle sur la pression de ravageurs majeurs, les pucerons, d'une culture de base, le haricot, et (ii) interpréter les résultats obtenus, en regard de l'organisation spatiale du paysage, des pratiques agricoles et du recours des

paysans aux services écosystémiques de régulation naturelle. Il s'inscrit dans une approche exploratoire.

Dans un premier temps, la zone d'étude est donc décrite : historique du paysage et description biophysique du milieu. Les pratiques agricoles sont ensuite détaillées, en particulier la culture du haricot. La perception, par les agriculteurs, des problèmes liés aux pucerons, est abordée. Le modèle biologique « haricots-pucerons-ennemis naturels » est étudié en lien avec le paysage, puis les différents insectes observés sont identifiés. Enfin, les résultats sont confrontés à la littérature et ouvrent des perspectives dans la discussion.



Figure 1. Carte du Kenya : Kisumu est entouré en Rouge, dans la Province de Nyanza. (Source : cartes du monde)

1 Historique du paysage et biophysique de la zone d'étude.

1.1 Un peu d'histoire...

1.1.1 Kenya et *Luo*, hier et aujourd'hui

Aujourd'hui, le Kenya est caractérisé par une forte diversité de la population : pas moins de 45 ethnies constituent ce pays, et autant de langues y sont parlées, en plus du Swahili et de l'Anglais, les deux langues officielles nationales.

Originellement, l'ethnie *Luo* est un peuple d'éleveurs qui, à la suite de l'augmentation de la pression démographique et de la raréfaction des pâturages, a entrepris une grande migration depuis le Sud du Soudan, en suivant le cours du Nil, jusqu'au lac Victoria et ses alentours : l'Ouganda, le Kenya et la Tanzanie. De cette migration provient leur nom, *Luo*, qui signifie « suivre ». Les premiers villages Luo se sont établis le long du rivage du Lac Victoria à une époque estimée entre 1490 et 1600 (Anyumba, 1995). L'ethnie *Luo* établie dans la région du Lac Victoria est subdivisée en 13 sous-groupes: certains vivent de la pêche, d'autres de l'agriculture et de l'élevage.

L'économie précoloniale des Luo était essentiellement une économie de subsistance : du troc avec les autres groupes ethniques des régions alentour du lac Victoria : les *Luhya* et les *Gusii* (Anyumba, 1995).

1.1.2 Kisumu : position stratégique pour la couronne britannique

Historiquement, les fondations modernes de Kisumu sont ancrées dans les politiques coloniales anglaises de la fin du 19^e et le début du 20^e siècle. En effet, pour le Royaume d'Angleterre, la possession de l'Egypte constitue un intérêt stratégique de taille pour contrôler le canal de Suez vis-à-vis des autres puissances coloniales européennes pour ainsi « protéger » l'accès à l'Inde, « joyau de la couronne ». Le contrôle de l'Egypte s'accompagne du contrôle du Nil et de sa source : le lac Victoria. Ayant déjà main-mise sur une partie de la côte est-africaine de l'Océan indien (voir zone colorée en jaune, Figure 2), il ne manquait plus que la construction d'une ligne ferroviaire reliant le lac à la côte Est, pour un déploiement rapide des troupes anglaises et du commerce impérial vers le lac Victoria et le Royaume du Bouganda, actuel Uganda (Anyumba, 1995). Une ligne de chemin de fer de 930 km de long fut donc construite entre 1896 et 1901 de Mombasa, port d'envergure internationale sur la côte de l'Océan Indien, à Kisumu, avec l'aide d'une importante main d'œuvre d'origine indienne, qui s'est établie dans le pays (Dilley, 1965). Cette ligne de chemin de fer devait aussi servir à acheminer la production des matières premières agricoles destinées à l'exportation, provenant de la région de Kisumu, déclarée propice à l'agriculture.

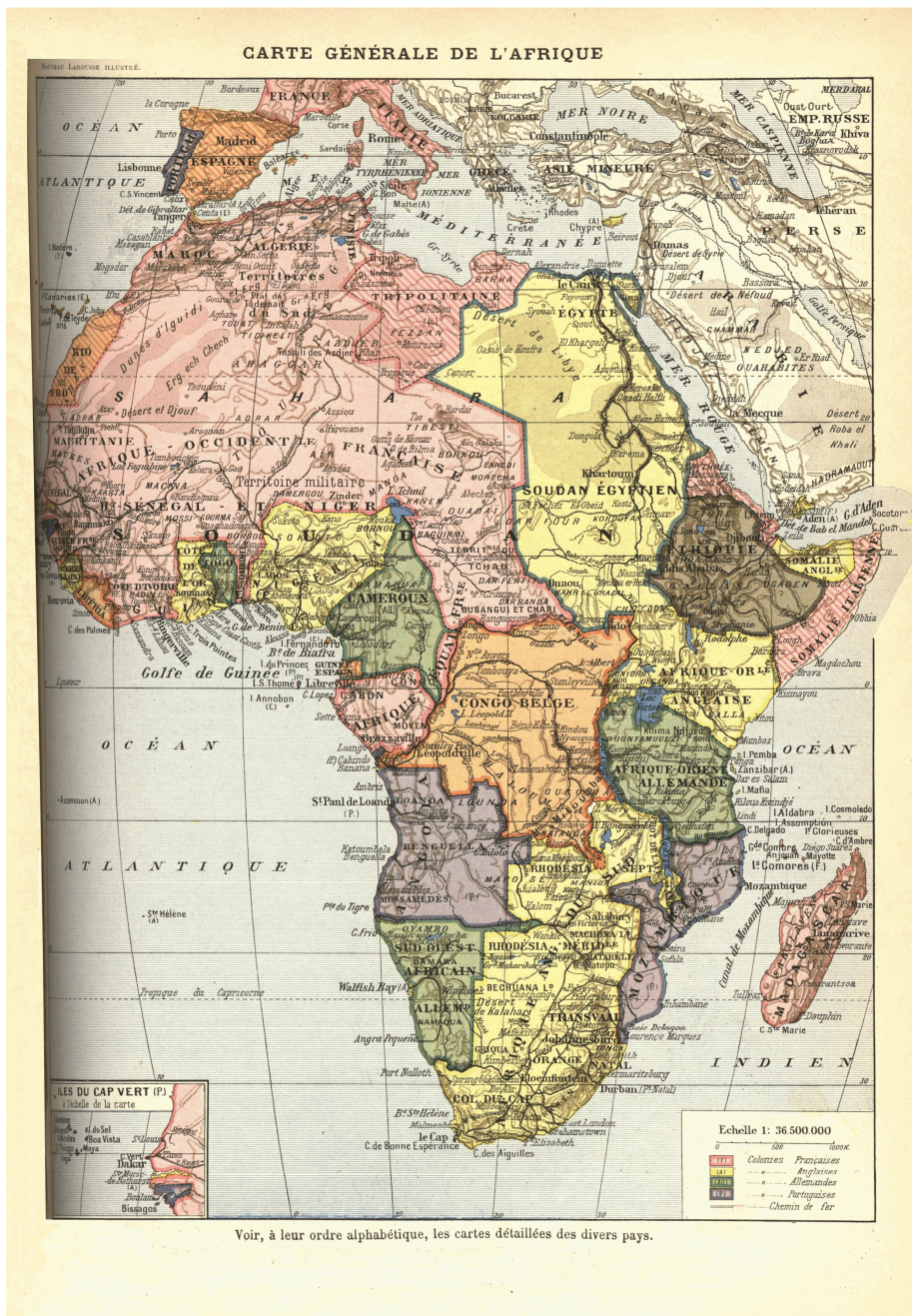


Figure 2. Carte générale de l'Afrique en 1889 : noter l'étendue de la colonie anglaise (en jaune) : du canal de Suez au lac Victoria (source : Nouveau Larousse illustré : 1898-1904).

Kisumu connut une croissance économique remarquable, contrôlant les gisements d'or de Kakamega, situés à 50 km, et faisant face à la forte demande dans le domaine de la construction urbaine, pour les Indiens et les Européens. Sa position géographique stratégique place désormais la ville à l'interface des pays frontaliers, et ses infrastructures permettent de désenclaver des régions intérieures de l'Afrique de l'Est. Son port permet alors d'affréter des bateaux vers l'Ouganda et la Tanzanie notamment, à travers le lac Victoria (O'Connor, 1965).

1.1.3 Kisumu aujourd'hui

Troisième ville du pays, Kisumu est devenu le centre administratif et commercial des services et des transports de l'Ouest kenyan. La ville de Kisumu connaît une forte croissance démographique depuis l'indépendance en 1962 (Anyumba, 1995), sa population a été multipliée par 15, passant de 23.000 hab. en 1962 à 332.000 en 2000 (Harre *et al.*, 2010). La Figure 3 montre que la région de Kisumu appartient à l'une des zones les plus densément peuplées au Kenya.

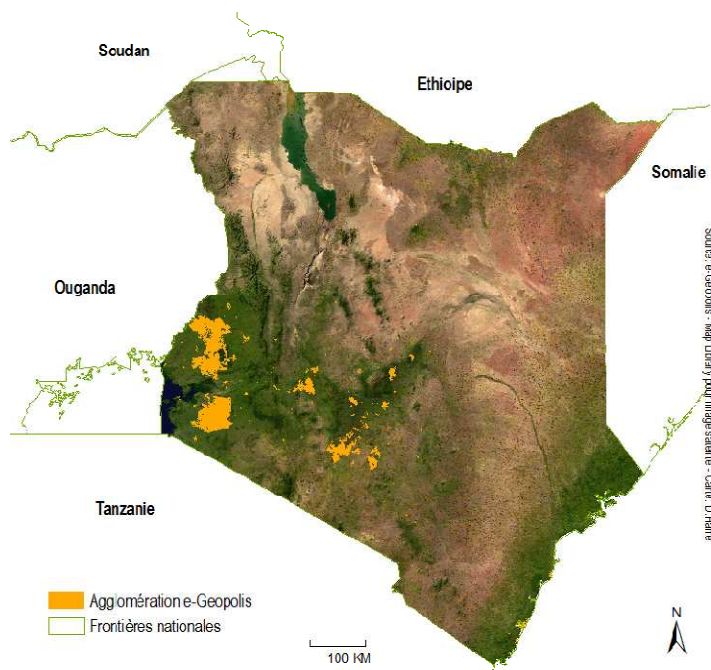


Figure 3. Carte du Kenya faisant ressortir les zones les plus densément peuplées, tel le district de Kisumu, au Nord du golfe de Winam (Source : Harre *et al.*, 2010).

1.1.4 L'agriculture pour les Luo : à peine un siècle d'histoire

Les connaissances sur la pratique de l'agriculture par le peuple Luo avant la colonisation sont limitées. Les chercheurs historiques décrivent une intensification suite à la colonisation, et au contact des populations indiennes qui s'implantèrent à Kisumu. Les ouvriers indiens mobilisés pour la construction de la ligne ferroviaire se sont vus distribuer des titres de propriété, ils se sont finalement implantés sur ces terres, et ont commencé à la cultiver de manière intensive, mettant en place des plantations de maïs, coton et canne à sucre, destinées à l'exportation. L'autorité coloniale souhaitait que ces ouvriers indiens fassent office de « modèle » agricole aux Luo, dont la production agricole était perçue comme insuffisante pour l'exportation (Anyumba, 1995).

1.2 Description biophysique de la zone d'étude

Kajulu est une entité administrative du district de Kisumu, mais elle se distingue aussi par des caractéristiques physiques, biologiques, un paysage construit par les habitants et leur mode de vie, résultant d'un échange avec les zones alentour.

1.2.1 Un « paysage » institutionnel complexe

De nombreux organismes de différentes natures sont en contact avec les villageois de Kajulu : le Ministère de l'Agriculture met en place des formations, les organismes nationaux de recherche tels le KESREF et le KARI travaillent parfois en collaboration avec les paysans. Le KESREF (issu du KARI) est spécialisé dans la culture de la canne à sucre, tandis que le KARI propose des séminaires, des formations en matière de gestion agronomique et des semences. De nombreuses ONG œuvrent à Kisumu, et leurs interventions se sont accrues depuis 2008 (Owaga, 2011, comm. pers.). En effet, l'élection du Président des Etats-Unis Barack Obama, dont des ascendants Luo vivent dans la région du Nyanza, a entraîné un intérêt international pour la zone, ainsi qu'un afflux d'argent se traduisant notamment par la création de centaines d'ONG à Kisumu. Celles-ci interviennent entre autres à Kajulu, dans divers domaines : santé, environnement, nutrition, sida, éducation, mais aussi agriculture. Enfin, des missionnaires européens et américains interviennent dans les écoles et les lieux de culte.

Les nombreux échanges avec des organismes extérieurs sont souvent source de cadeaux pour les agriculteurs : semences, produits phytosanitaires, petit bétail, rémunération des enquêtes, dons d'argent. Ces interventions des différentes institutions auprès des habitants, donnent lieu à des flux de biens, d'argent et d'informations.

1.2.2 Une organisation foncière en transition

Droit coutumier et droit officiel ne se superposent pas facilement. Le droit coutumier est traditionnellement pratiqué sur le modèle de la patrilinéarité : dans chaque famille le père divise ses terres pour en octroyer une fraction à chacun de ses fils. Ceux-ci doivent épouser une femme qui provient d'un autre village. Cette tradition de mobilité de la femme amène un brassage génétique, mais aussi un brassage dans les savoirs et les pratiques, la femme ayant un rôle central dans la gestion des champs. Cependant, ce modèle de droit coutumier patrilinéaire s'inscrit aujourd'hui dans une dynamique d'évolution, en réponse à la forte pression démographique. Ne pouvant plus s'étendre géographiquement, le patrimoine familial en terres cultivables est très subdivisé avec des surfaces cultivables considérablement réduites.

Du point de vue du droit officiel, des titres de propriété ont été distribués par le gouvernement à Kisumu, mais tous les titres n'ont pas été attribués aux occupants des lieux. Il reste donc quelques agriculteurs installés depuis des générations à Kajulu, mais ne possédant pas de titre foncier officiel (Birman, 2011, comm. pers.). La vision de l'agriculteur s'inscrit alors dans le court terme, il a tendance à moins investir dans ses terres.

1.2.3 Kajulu, entre rural et péri-urbain

Les Indiens cultivent les terres à l'Est de Kisumu, qui sont devenues une plaine sucrière (d'une étendue de 100 km² environ), tandis que les Luo natifs se sont installés le long des montagnes au Nord, dans la vallée de Kajulu.

Kajulu est donc une zone agricole rurale, située à 20km de Kisumu, mais les récents aménagements des infrastructures routières avec l'accès aux transports en commun et la croissance urbaine de Kisumu, placent quasiment cette localité en statut d'agriculture périurbaine. La pression démographique à Kajulu est très forte : entre 2000 et 3500 habitants au km² (Muga, 2005). Cette zone est donc extrêmement anthropisée et vit majoritairement de ses revenus agricoles.

1.2.4 La zone d'étude à l'interface de différents écosystèmes : échelles emboîtées

La situation biophysique du district de Kisumu est modelée en un paysage particulier : celui de la Vallée du Rift, qui a formé, suite à la divergence des plaques nubienne, arabe et somalienne, le bassin du lac Victoria et des reliefs formés par des failles normales¹ : les Nandi Hills. Celles-ci bordent le pourtour du lac à l'extrémité Nord-est du Golfe de Winam, où se trouve le district de Kisumu et offrent un dénivelé abrupt de plus de 300 mètres. C'est au creux de ces montagnes que se situe Kajulu, la zone qui intéresse notre étude (en rouge sur la Figure 4). Cette zone est ainsi située à l'interface de différents agro-écosystèmes (voir Figure 4) :

- au Sud : l'extension urbaine de la ville de Kisumu, très densément peuplée entre 3500 et 7000 hab./km² (Muga, 2005), avec un réseau routier développé ;
- au Sud Est : la plaine sucrière, présentant une unité uniforme de monoculture avec une faible pression démographique (entre 150 et 250 hab./km² (Muga, 2005)
- au Nord et à l'Ouest : le relief des montagnes des Nandi Hills, montagnes déforestées, inhabitées et non cultivées, espace semi-naturel.

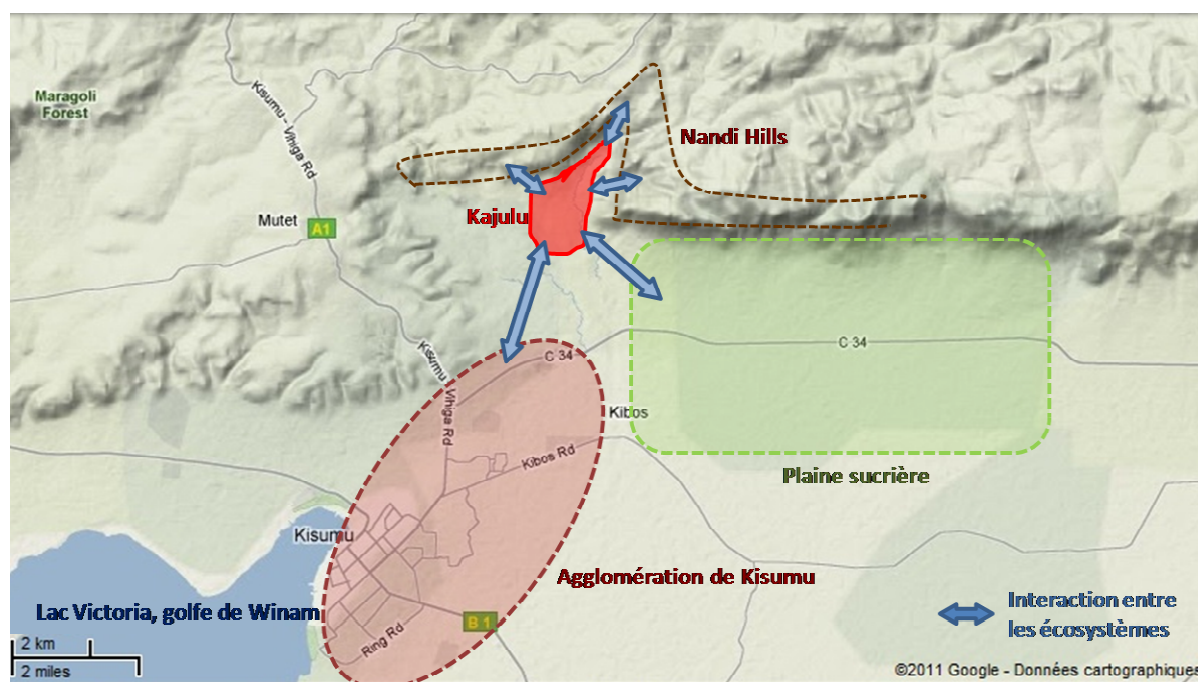


Figure 4. La zone d'étude de Kajulu : à l'interface de différents agro-écosystèmes. Niveau 1. (fond de carte Google Map)

Les échelles de représentation de la zone s'emboîtent pour une compréhension de plus en plus précise : niveaux 1, 2 et 3.

¹ Une faille normale résulte d'une extension entre deux blocs rocheux, provoquant l'abaissement d'un bloc par rapport à l'autre.

A l'échelle de la zone d'étude de Kajulu, la Figure 5 représente une description du niveau 2. Des éléments naturels structurent le paysage : les montagnes et la rivière de Kibos. Entre l'extrémité Est de la zone et les montagnes, se situe une ancienne usine et plantation de canne à sucre, détruite et brûlée en 2007 suite aux violences politiques et ethniques qu'a connues le Kenya. Depuis, le propriétaire indien s'est enfui, et cette zone ouverte, sans arbres ni haies est en friche et sert d'aire de pâturage aux troupeaux de bovins.

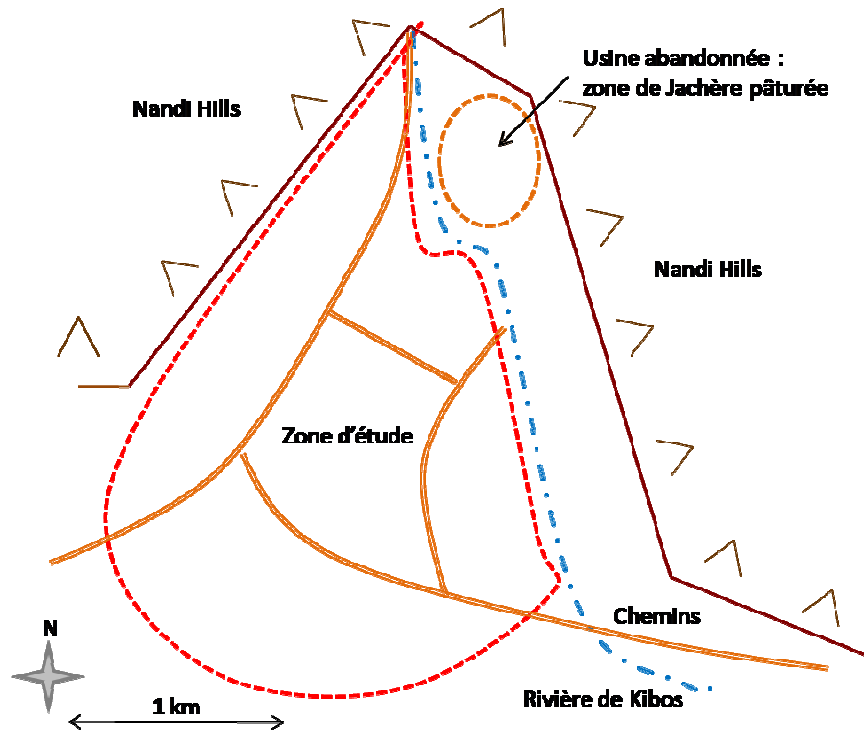


Figure 5. Description schématique de la zone d'étude : niveau 2. Kajulu, Kenya, 2011 .

1.2.5 Mise en valeur des terres agricoles

La zone d'étude est caractérisée par une variabilité extrême en termes d'utilisation du sol : monoculture de canne à sucre, cultures vivrières en association, agroforesterie, foresterie, élevage en enclos ou extensif dans la zone de jachère abandonnée. Les produits des activités agricoles sont soit vendus à l'usine de sucrerie de Kibos, dans le cas de la canne à sucre, soit consommés sur place, échangés entre les habitants ou vendus aux marchés de Kisumu (fruits, légumes, bétail, lait, bois de construction) dans le cas des cultures vivrières.

Ceci s'explique par le fait qu'à Kajulu, la situation économique des familles est très contrastée : une partie fonctionne de manière autosuffisante avec un système très peu monétarisé, tandis que d'autres, pratiquant à la fois les cultures vivrières (en association) et la canne à sucre (en monoculture), prennent part à un système monétarisé, en établissant des contrats avec l'usine sucrière de Kibos, et en multipliant les contacts avec les marchés de la ville de Kisumu.

La canne à sucre est la principale culture de rente dans cette zone. La proximité de l'usine sucrière de Kibos (5 km) et le transport par de larges chemins en terre battue rendent possible cette culture de rente..

Selon la mise en valeur des sols souhaitée, on peut dégager trois principaux types de cultures pratiquées et construire un schéma à un troisième niveau de compréhension du paysage (voir Figure 6), avec :

- des zones de cultures vivrières pratiquées majoritairement en association, avec un important maillage paysager : habitations, haies, bosquets
- des zones où la culture est majoritairement en canne à sucre
- une zone de piémont quasi inhabitée et non cultivée à cause de la pente, mais présentant de petites fractions en sylviculture d'*Eucalyptus* ou en *Grevilla robusta*.

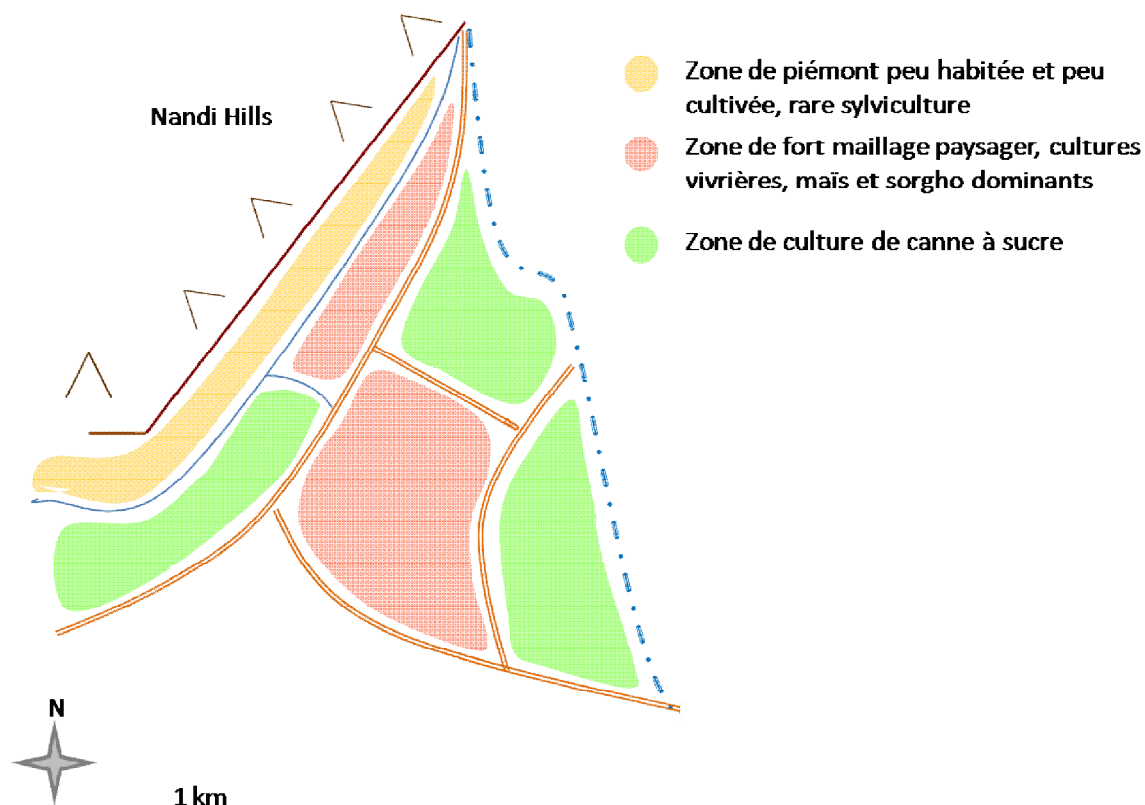


Figure 6. Description schématique de la zone d'étude : niveau 3. Kajulu, Kenya 2011.

1.2.6 Comment modes de vie et traditions modèlent une mosaïque paysagère

Pour l'agriculteur, la parcelle est l'unité foncière dont il est propriétaire : entité ayant un numéro dans le cadastre, s'il en a la propriété officielle. Celle-ci est découpée en différentes sous-unités se composant de :

- la *dala* : maison du père, située en face de l'entrée de la propriété,
- les *simba* : maisons de ses jeunes fils, de part et d'autre de l'entrée,
- l'enclos des animaux : bovins et petits ruminants, permettant la centralisation du fumier, élément majeur de fertilisation des champs.
- les différents champs : certains sont situés à proximité des maisons, dans la parcelle principale, tandis que d'autres peuvent être excentrés, selon la propriété des parents.

Des haies arbustives et arborées entourent les champs et la parcelle (voir Figure 7).

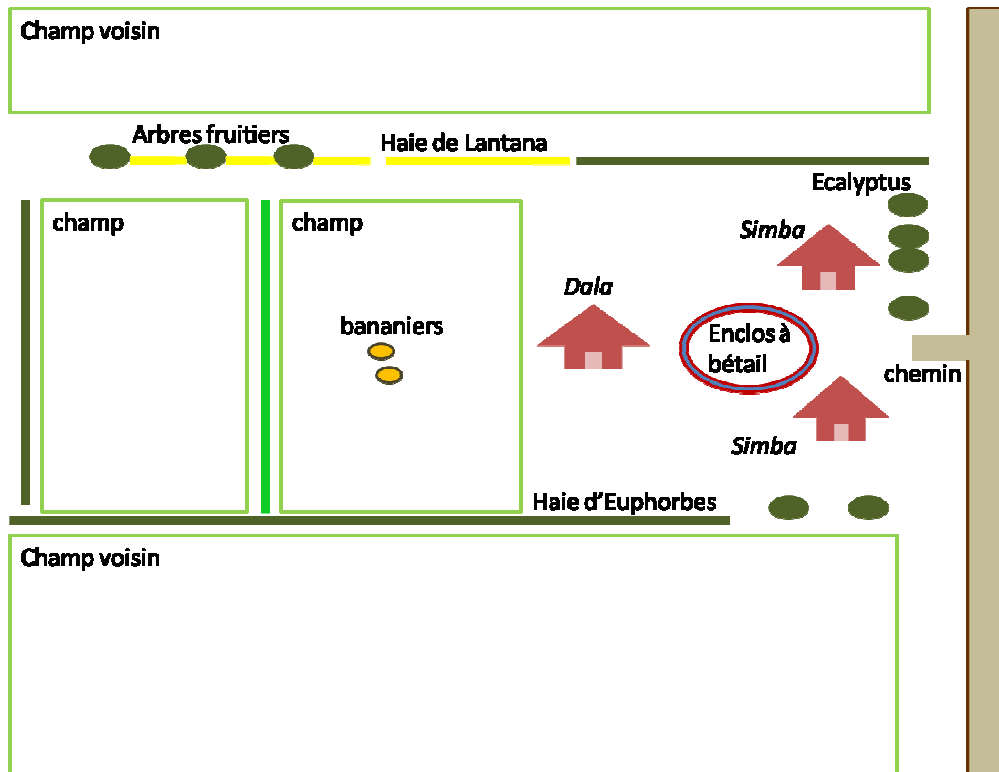


Figure 7. Schéma type d'une parcelle-type à Kajulu, 2011 (Source : l'auteur)

Les agriculteurs de Kajulu modèlent leur paysage de manière à tirer profit au maximum de la terre disponible, tout en marquant le foncier par des éléments de paysage ayant une fonction particulière. Pour délimiter leur propriété, les Luo de Kajulu mettent en place des haies d'euphorbe (*Euphorbia tirucalli*) et de *Thevetia* du Pérou (*Thevetia peruviana*), espèce importée. D'autres haies sont plantées au sein des propriétés : autour des champs pour les protéger du bétail, pour briser le vent ou pour créer une barrière anti érosive. Des arbres sont aussi plantés autour des maisons ou en haie, pour l'ombre et les fruits qu'ils produisent, ainsi qu'à des fins de production de bois de construction ou de chauffage.

Les espèces plantées sont choisies par rapport aux fonctions particulières recherchées par les habitants : voir Tableau 1. Haies: fonctions, noms vernaculaires et scientifiques. Kajulu, Kenya 2011. Tableau 1.

Fonctions	Nom vernaculaire Luo/Français	Famille	Nom scientifique
Délimiter la propriété			
Produire bois de construction	<i>Chamama/Thevetia</i>	Apocynaceae	<i>Thevetia peruviana</i>
Marquer la propriété	Euphorbe	Euphorbiaceae	<i>Euphorbia tirucalli</i>
Créer une barrière contre le bétail	Lantana	Verbenaceae	<i>Lantana camara</i> , <i>Lantana trifolia</i>
Procurer de l'ombre et des fruits	<i>Jamna/Jamelonier</i>	Myrtaceae	<i>Syzygium cumini</i>
Produire du bois de construction	<i>Siala/Markhamia</i>	Bigoniaceae	<i>Markhamia lutea</i>
Produire du bois de construction	<i>Gravilia/Chêne soyeux</i>	Proteaceae	<i>Grevillea robusta</i>
Produire des fruits	Goyavier	Myrtaceae	<i>Psidium guajava</i>
Fruits	Bananier	Musaceae	<i>Musa</i> sp.
Fruits	Avocatier	Lauraceae	<i>Persea americana</i>
Fruits	Manguier	Anacardiaceae	<i>Mangifera indica</i>

Tableau 1. Haies: fonctions, noms vernaculaires et scientifiques. Kajulu, Kenya 2011.



Photographie 1. Exemple d'environnement modelé par l'agriculteur à Kajulu : haie d'euphorbes au premier plan, marquant la propriété et séparant le chemin du champ ; arbres plantés autour de la maison : chêne soyeux, *Markhamia* et *Eucalyptus* pour le bois, manguier pour les fruits. Kajulu, Kenya.

Ces haies et arbres sont des éléments pérennes dans le paysage, qui marquent l'appropriation de leur environnement par les agriculteurs. Cette organisation du paysage

forme une mosaïque, alternant champs, haies, bosquets et maisons. Avec ces subdivisions de parcelles, le paysage est structuré à une très petite échelle : tous les déplacements se faisant à pied ou à vélo dans la zone. Le « grain » du paysage est donc très fin.

1.2.7 A l'échelle du champ : une variabilité temporelle et fonctionnelle

-Canne à sucre :

Le cycle de récolte de la canne à sucre est de 18 mois, et le cycle de culture de 6 ans (4 récoltes), ce qui offre une certaine stabilité temporelle au paysage agricole. Cependant, les prix d'achat de la canne aux producteurs, fixés par l'usine, ont considérablement diminué depuis l'entrée du Kenya dans le marché commun de l'Afrique de l'Est, le COMESA (Shiundu, 2011). Alors qu'il était rentable de cultiver un champ de cinq hectares en canne à sucre, la question se pose aujourd'hui : certains agriculteurs décident d'arracher la canne à sucre de leur parcelle, avant la fin du cycle de récolte, pour y planter une culture plus rémunératrice, telle le maïs (Birman, 2011, comm. pers.).

- Plantes vivrières :

Les cultures vivrières mises en place varient selon les saisons : des rotations permettent d'adapter la culture à la saison et ainsi de cultiver presque tout au long de l'année. Cette variabilité temporelle des cultures choisies est aussi fonctionnelle : elle permet une sécurité alimentaire en assurant aux familles une source de nourriture régulière, elle permet de limiter les attaques de ravageurs, mais aussi de limiter l'érosion et la perte de fertilité inhérente, en assurant une couverture au sol durant l'ensemble de l'année.

La pluviométrie dans cette zone du Kenya est bimodale : une longue saison des pluies, de Mars à Juin (700 à 900 mm), *Chuiriri* en langue Luo, et une courte saison des pluies d'Octobre à Décembre (300 à 400 mm), *Oponen* langue Luo. En Figure 8, le diagramme ombrothermique réalisé à partir des données de la station météorologique du KESREF, située à 3km de Kajulu, montre les fluctuations thermique et pluviométrique pour l'année 2004.

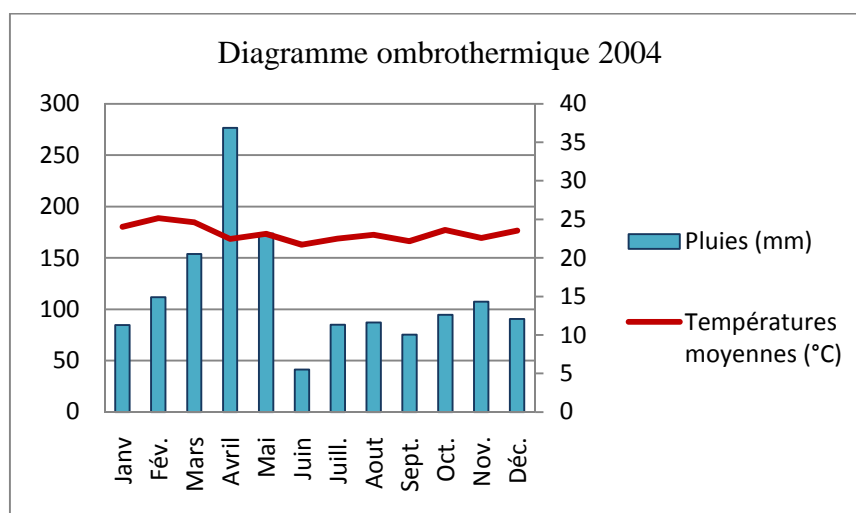


Figure 8. Diagramme ombrothermique 2004, à partir des relevés de la station météorologique du KESREF, Kibos, Kenya.

Les principales cultures sont ainsi le maïs et le sorgho, en culture pure ou en association avec une légumineuse : haricot, niébé ou arachide. Au sein d'un même champ, on a donc les associations suivantes, illustrées par la Photographie 2:

- Maïs-Haricot
- Maïs-Sorgho-Haricot
- Maïs-Sorgho-Haricot-Niébé
- Maïs (ou Sorgho)-Haricot (ou niébé)-Patate douce etc.



Photographie 2. Associations culturales dans les champs de Kajulu : a. Maïs-Haricot, b. Maïs-arachide, c. maïs-patate douce (2 variétés), d. maïs-haricot-arachide-patate douce.

Le haricot et l'arachide ont été introduits par les Anglais comme cultures d'exportation, en 1912 (Birman, 2010), et ont été adoptés par la population dans son régime alimentaire de base. Le maïs, le manioc, la patate douce, ont été introduits au 16^e siècle par les Portugais, à la suite de leur récente découverte de l'Amérique du Sud. Ces cultures occupent une place importante dans l'alimentation de base à Kajulu. Le Tableau 2. présente le calendrier cultural des principales cultures, et la Photographie 3 montre le grand nombre de cultures sur une petite surface, à Kajulu.

Culture	saison sèche		Grande saison des pluies				saison sèche			Petite saison des pluies			saison sèche		Grande saison des pluies		
	Janv	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv	Fév.	Mars	Avril	Mai
Mais			■	■	■	■	■		■	■	■	■	■				
Sorgho			■	■	■	■			■	■	■	■					
Haricot			■	■	■	■											
Niébé			■	■	■	■											
Arachide			■	■	■	■											
Patate douce							■	■	■	■	■						
Manioc			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Tomate									■	■	■						

Tableau 2. Calendrier cultural des principales cultures vivrières plantées à Kajulu, Kenya.



Photographie 3. Variabilité des cultures sur une petite surface. Kajulu, Kenya, 2011

Les cultures suivantes sont également plantées : choux, oignons, piments, épinards, coriandre, roselle (*Hibiscus sabdariffa*, servant à confectionner une boisson de couleur rouge).

- Plantes de service :

Il existe des plantes poussant spontanément dans les champs, mais que les agriculteurs ne désherbent pas car ce sont des plantes utiles. « *Aboth* » (*Corchorus olitorius*, Malvacées), ou encore « *Ododo* » (*Amaranthus* sp., Amaranthacées) sont comestibles et certains agriculteurs en prélèvent les feuilles pour les cuisiner avec d'autres légumes.

Au sein d'un même champ, les diverses espèces mentionnées sont associées, comme par exemple le sorgho, le maïs ou le haricot. De plus, pour une espèce donnée, diverses variétés sont parfois présentes. Cette variabilité est fonctionnelle : ces associations polyvariétales présentent des génotypes à qualités agronomiques différentes : résistance à la sécheresse, meilleur rendement, précocité. Cette diversité est introduite volontairement par les agriculteurs, en fonction de contraintes physiques, foncières et financières. Ceci crée un paysage agricole qui est structurellement hétérogène.

On peut s'interroger sur l'effet de cette diversité sur le monde des ravageurs et leurs ennemis naturels.

1.2.8 Explorer le paysage en accord avec la capacité de dispersion des insectes.

Les insectes sont soit spécialistes : ils ne se nourrissent que d'une espèce (botanique ou animale), soit polyphages : ils se nourrissent de plusieurs espèces. Leur capacité de dispersion s'en trouve alors très différente : pour les insectes phytophages et polyphages tel le puceron *Aphis fabae*, plusieurs cultures correspondent à leurs plantes hôtes : le haricot et le manioc, entre autres. Elles représentent donc un continuum de source de nourriture potentielle durant la saison de culture, tandis que les autres plantes représentent une matrice inerte.

Il en est de même pour les populations d'ennemis naturels tels les coccinelles ou les syrphes dont les larves se nourrissent de pucerons de différentes espèces : leur capacité de dispersion est alors fonction de celle des pucerons. Au stade adulte, certains prédateurs comme les syrphes se nourrissent de nectar et pollen, ressources plus abondantes dans les polycultures (Andow, 1991).

En saison sèche, lorsqu'il n'y a plus de cultures dans les champs, les éléments pérennes du paysage permettent aux populations de bioagresseurs, mais aussi d'ennemis naturels, de se maintenir et d'être plus abondants à la nouvelle saison de culture (Andow, 1991).

Face à cette complexité, on peut se demander quelle est la perception des principaux acteurs : les agriculteurs.

2 Le monde selon les agriculteurs

Comment les agriculteurs *Luo* à Kajulu perçoivent-ils la complexité de leur monde, la biodiversité qui les entoure, et sont-ils conscients des services écosystémiques qui en découlent ?

Quelle est leur perception des problèmes phytosanitaires rencontrés dans leurs systèmes de production, notamment dans le cas de la culture associée du haricot avec le maïs ?

Comment définissent-ils la pression des ravageurs, en particulier celle des pucerons et comment gèrent-ils ces problèmes selon le lieu où ils vivent ? Connaissent-ils les responsables de la régulation naturelle des populations de ravageurs ?

Pour répondre à ces questions, nous avons mené des enquêtes sur le terrain, en binôme avec Miren Harignordoquy, dont les observations portaient sur les foreurs de tige du maïs et leurs ennemis naturels. Vingt-sept agriculteurs ont été choisis, dont dix appartiennent à la communauté avec laquelle travaille Delphine Birman.

Cette situation a nécessité certaines précautions. En effet, suite à l'importante activité des ONG, source de dons de biens et d'argent, les habitants de Kajulu sont souvent en attente de versement d'argent pour toute réponse donnée lors d'un questionnaire. Ainsi, compte tenu du contexte sociologique de la thèse de Delphine, qui implique des relations de confiance non faussées par des échanges monétaires, nous avons choisi d'adopter une conduite discrète. Ainsi nous avons utilisé les systèmes de transports usuels des habitants de Kajulu : *matatus* (bus) et mototaxis depuis la ville, puis déplacements à pied sur le terrain d'étude. Cette contrainte a rendu les journées de terrain longues mais a permis un contact plus rapide et une relation plus vraie avec les agriculteurs.

Lors des enquêtes, les questions ont été posées en langue *Luo* avec l'aide d'un interprète, qui traduisait également les réponses. Deux réunions ont été organisées afin de présenter le travail de terrain, en début de stage, le 21 Avril, à l'école de Kajulu, puis en fin de stage, le 21 Juin, pour restituer les données acquises. La Photographie 4 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** illustre l'une des réunions. Celles-ci avaient aussi pour but de recueillir des informations complémentaires aux enquêtes, en suscitant des débats en incitant les agriculteurs à intervenir. Ceux-ci se sont alors mis en position de locuteurs, en s'impliquant et en réagissant avec un regard critique sur les interventions des uns et des autres.



Photographie 4. Réunion avec les agriculteurs, à l'école de Kajulu, 21 Avril 2011.

2.1 Les agriculteurs et leurs champs

2.1.1 Qui sont les agriculteurs enquêtés ?

Les agriculteurs sont de différents niveaux sociaux. On peut distinguer des agriculteurs pauvres possédant peu de terres et louant leur force de main d'œuvre (10 sur 27 enquêtés) et des agriculteurs plus aisés, possédant des champs de canne à sucre, qui emploient occasionnellement des ouvriers agricoles pour travailler sur leurs terres, et qui vivent également d'autres revenus provenant d'activités à la ville. Certains ont suivi une formation sur l'agriculture par leur cursus scolaire ou par les ONG intervenant à Kajulu : voir Tableau 3

Erreur ! Source du renvoi introuvable.

Situation des agriculteurs	Nombre
agriculteurs pauvres	10/27
agriculteurs aisés	17/27
agriculteurs ayant reçu une formation	20/27

Tableau 3. Situation des agriculteurs enquêtés à Kajulu, Kenya, 2011.

2.1.2 Quelle est leur approche de la biodiversité ?

Pour comprendre comment les agriculteurs perçoivent la biodiversité, nous leur avons projeté les photos de trois situations de champs très différentes, rencontrées à Kajulu, et nous leur avons demandé ce qu'ils en pensaient, quel champ ils préféreraient cultiver et pourquoi (voir Photographie 5).



Photographie 5 : Trois différentes situations de champs à Kajulu, montrées aux agriculteurs lors de la 2^e réunion, Juin 2011. 1 : champs entourés de montagnes et avec de nombreuses haies et arbres ; 2 : champs en monoculture, sans éléments semi naturels ; 3 : champs en cultures associées, entouré de haies et d'arbres.

La situation 2 est décrite par tous les agriculteurs prenant la parole, comme une zone intéressante pour cultiver la terre, pour ses qualités de fertilité : elle est plane et située au pied des montagnes, elle serait donc riche d'un bon sol suite à l'érosion des montagnes par les pluies. Ils ont ajouté que cultiver en monoculture était possible dans cette zone, avec des champs aussi grands, et que cela était préférable pour une meilleure récolte. On peut se demander si cette réflexion est partagée par tous, et si elle n'est pas influencée par le cadre d'expression : face au référentiel européen que nous représentons pour eux.

Leurs réactions à propos de la situation 3 étaient concentrées sur le rôle ambivalent des arbres. Ils permettent à la fois de fournir des biens (bois de chauffage et de construction, fruits), et des services (ombre et fraîcheur pour se reposer, fonction de brise-vent, fertilisation naturelle du sol par les feuilles tombées, entretien d'un microclimat humide favorable aux plantes en l'absence de pluies), mais les agriculteurs les signalent aussi comme entrant en compétition pour l'eau avec les cultures, notamment dans le cas de l'*Eucalyptus*.

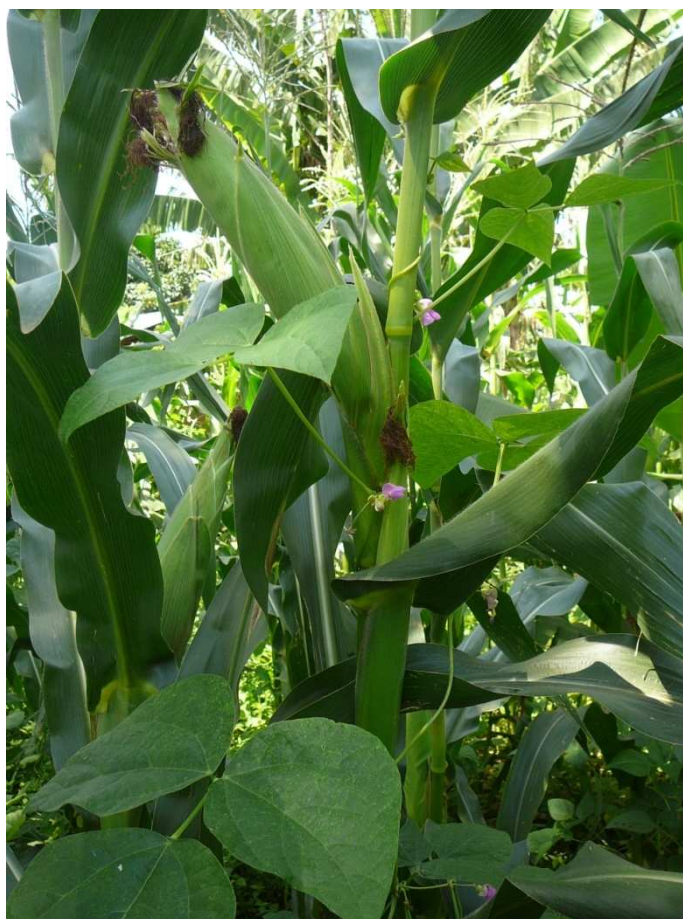
La situation 1 a suscité moins de réactions, seuls les habitants de cette sous-zone se sont exprimés à son égard en évoquant les soucis de fertilité liés à la pente, avec une meilleure fertilité en bas de pente, ainsi qu'un inconvénient majeur lié à la présence de montagnes inhabitées entourant cette sous zone : les babouins entrent dans les champs pour prélever les épis de maïs lorsque celui-ci est mûr.

2.1.3 Association culturale : pourquoi?

Le haricot, le niébé et l'arachide sont les principales légumineuses cultivées à Kajulu, elles sont majoritairement cultivées en association avec des graminées telles que le maïs et le sorgho.

La diversification va de pair avec la faible disponibilité de terrains cultivables. C'est une manière pour les agriculteurs de valoriser leur surface agricole en augmentant le potentiel de récolte par champ, et en diminuant les risques de pertes (source : 2^e réunion). Certains agriculteurs expliquent que c'est en réponse à cette faible disponibilité en terres qu'ils adoptent la technique de l'association culturale.

L'association type maïs-haricot permet aussi au maïs de servir de tuteur pour le haricot (voir Photographie6). Ceci est possible lorsque le haricot est planté au pied du maïs. Mais cette fonction ne paraît pas toujours recherchée par les agriculteurs, qui plantent parfois les rangs de haricots en décalé avec les rangs de maïs. Cela pourrait être en lien avec les variétés de haricot : certaines sont rampantes et d'autres non, ou bien parce qu'ils ne recherchent pas cette fonction de tuteur. Les différents cas de figure sont observés sur le terrain.



Photographie 6. La tige du maïs sert de tuteur au haricot, Kajulu, Kenya, 2011.

D'un point de vue temporel, les différentes espèces plantées dans un même champ ne parviennent pas à maturité au même moment. Ceci permet donc de lisser la demande en main d'œuvre dans le temps en étalant les périodes de pics de travail, mais aussi de constituer un apport régulier de nourriture ou de devises, si les récoltes sont vendues. Par exemple, pour la petite saison des pluies de cette année, le haricot et le niébé ont été récoltés environ fin Juin, selon les variétés, puis c'est le sorgho, puis le maïs fin Juillet et enfin l'arachide début Août.

2.1.4 Le haricot : multiples fonctions

Ces légumineuses sont des cultures vivrières, elles ne sont généralement pas vendues au marché, mais consommées sur place. Certains agriculteurs conservent une partie de la récolte, les plus beaux haricots, comme semence pour l'année suivante. D'autres consomment toute leur récolte et rachètent au marché de Kisumu de nouvelles semences chaque année (prix : 365 Ksh les 2kg, servant pour trois champs de 90m², source : interviews).

Les semences de haricot sont très diversifiées. Certains connaissent les noms des semences qu'ils utilisent ; d'autres non, mais ils savent les décrire par leur couleur et leur taille (interviews). Les variétés plantées sont *rosecoco*, la plus commune : plantées dans un tiers des champs observés, mais aussi *nyayo*, *wairimu*, *saitoti*, *pocho*, *opuodo* (voir Photographie7) ou encore des semences fermières. Certains agriculteurs mélangent les variétés au sein du même champ.



Photographie7. Variétés locales de haricots (*Rosecoco*, *Wairimu*, *Opuodo*, *Saitoti*, *Pocho*) et niébé (*Boh*), Kajulu, Kenya, 2011.

Le haricot est nommé *Oganda* en Luo, et le niébé, *Boh*. Ces plantes d'association constituent deux types de sources d'alimentation : les feuilles d'une part, et les fruits d'autre part. Les feuilles sont prélevées tout au long du cycle cultural, dès que le plant de haricot est suffisamment développé. Elles ne sont pas stockées et sont cuisinées avec d'autres feuilles pour former une sauce verte, consommée avec de l'*ugali*, l'aliment de base (farine de maïs). D'autre part, les fruits sont récoltés à la fin de la saison des pluies, une fois arrivés à maturité (gousse déhiscente). Ils sont séchés au soleil quelques jours puis stockés et consommés. La culture du haricot constitue donc une source régulière d'apports en nourriture diversifiée et complémentaire du maïs.

2.1.5 Perception des problèmes :

Les agriculteurs déclarent lors des enquêtes que les principaux problèmes entraînant une baisse des récoltes sont les suivants :

- le manque de pluie ces dernières années : même durant la grande saison des pluies, les cultures de maïs manquent d'eau.

- la gestion de la fertilité : sans apport d'engrais, les champs sont peu fertiles. Les agriculteurs les décrivent ainsi par leur couleur rouge et leur texture trop légère. L'utilisation de fumier est un élément central dans la gestion du champ pour bon nombre d'agriculteurs, tant pour sa qualité de fertilisant pour les cultures, que pour l'amélioration de la qualité structurale des sols. Nombreux sont les agriculteurs possédant des têtes de bétail, dont ils se servent directement des déjections comme fumure, après une période plus ou moins longue de maturation. Certains n'ont pas de bétail : soit ils échangent du fumier avec des voisins, soit c'est par choix et ils préfèrent acheter des engrais chimiques. Ce dernier cas ne s'observe que pour une tranche réduite d'agriculteurs enquêtés (4/27). Les déchets de cuisine et résidus de culture servent aussi d'engrais vert.

- la gestion du striga : cette plante parasite du maïs est connue à Kajulu : l'ensemble des agriculteurs enquêtés lutte contre son développement chaque année par la fertilisation du champ en fumier et l'arrachage manuel. Seuls deux agriculteurs employaient la technique de lutte inverse en déclarant utiliser des fertilisants chimiques pour s'en débarrasser. Une agricultrice disait avoir découvert cette plante en arrivant à Kajulu, à son mariage : dans sa région d'origine, le striga était absent.

- les attaques des ravageurs. Les ravageurs occasionnant le plus de dégâts dans les zones écologiques 1 et 2, sont les singes et les écureuils qui provenant des espaces inhabités de la montagne, ainsi que les rats. Les insectes sont aussi signalés par les agriculteurs comme d'importants ravageurs.

Au travers des réunions, des enquêtes et des discussions informelles, nous avons pu comprendre que les agriculteurs ont une approche fonctionnelle de la biodiversité qu'ils entretiennent. Les arbres, les haies et les champs en associations culturales, sont autant de moyens, directs ou indirects, de produire face à la contrainte de la limitation de l'espace. Ils paraissent percevoir des services écosystémiques rendus par cette biodiversité, notamment en termes de gestion de la fertilité. Nous voyons dans le chapitre suivant comment les agriculteurs perçoivent les insectes, particulièrement les pucerons, et s'ils sont conscients du service écosystémique de régulation naturelle.

2.2 Les insectes, perçus par les agriculteurs

2.2.1 Connaissances des agriculteurs sur les ravageurs et les maladies, concernant notamment les pucerons.

- *Kute*

Les bioagresseurs portent le nom de *kute* en Luo. Les agriculteurs distinguent : foreurs de tige du maïs (*kundi*), chenilles se nourrissant de feuilles (*kungu*), larves vivant dans le sol et se nourrissant de racines des céréales (larves de Coleoptères Scarabaeidae) (*ofunyu*), pucerons (*kikun*), termites (*bie*), aleurodes, etc.

Lors de la 1^e réunion, les agriculteurs ont expliqué qu'il y avait une relation entre fertilité et ravageurs. En effet, les agriculteurs des sous-zones 1 et 2 ont décrit des attaques plus fortes en bas de pente, dues à un sol plus fertile.

Les arbres jouent aussi un rôle dans les attaques des ravageurs pour les agriculteurs : d'une part à l'ombre des arbres, les plantes seraient moins attaquées par les ravageurs, et d'autre part, les arbres fruitiers permettent d'attirer les oiseaux, qui se nourrissent également d'insectes et peuvent réguler les ravageurs (source : 1^e réunion).

Lors de la 2^e réunion, une femme déclarait avoir observé que les haricots en monoculture étaient moins sujets aux attaques des pucerons. Ce point de vue n'était pas partagé par l'ensemble des agriculteurs.

Le rôle des haies pour les ravageurs ou les ennemis naturels est inconnu des agriculteurs. Cependant, deux agricultrices déclarent avoir observé des pucerons sur les haies d'euphorbe.

Selon les rotations, les agriculteurs pratiquent parfois le labour précoce : les champs sont alors laissés à nu pendant la saison sèche entre Décembre et Mars, la température du sol nu augmente alors fortement et ainsi élimine les ravageurs, selon les explications des agriculteurs, lors de la 1^e réunion

Les maladies sont peu connues, ou du moins elles ne sont pas identifiées comme telles. Les symptômes observés sur les plantes sont attribués à la sécheresse, au manque de fertilité ou à des ravageurs.

- *Kikun*

Les pucerons sont des bioagresseurs que les agriculteurs connaissent et désignent sous le nom de *kikun* en langue *Luo*. Ils ont observé que les ceux-ci attaquent en particulier certains organes de la plante, les parties les plus tendres : l'extrémité de la plante, les fleurs (2^e réunion).

Trois agriculteurs ont signalé que la pluie lavait les plantes des pucerons.

Selon les agriculteurs, les conséquences des attaques de pucerons sur les haricots sont : des feuilles qui se replient ou qui restent de petite taille, des gousses qui ne sont pas belles, des plants donnant l'impression d'être très vieux. Ils n'évoquent pas la transmission de maladies.

2.2.2 Variabilité temporelle de l'infestation

Le référentiel de dégâts dans le temps est soit une comparaison entre les deux types de saisons des pluies, soit d'une année sur l'autre. Entre la grande saison des pluies et la petite saison des pluies, certains agriculteurs perçoivent une différence : voir Tableau 4. Leur réponse est classée en fonction de la localisation de leur champ, pour appréhender une éventuelle variabilité spatiale. La sous-zone 1 est située au fond de la vallée, entourée de montagnes, la sous-zone 2 est le long de la zone de piémont, dans la partie Ouest de Kajulu, la sous-zone 3 est située au centre de Kajulu, c'est la plus densément peuplée, la sous-zone 4 se situe dans le bas fond.

Cependant, leurs opinions sont contradictoires, même au sein d'une même sous-zone.

Réponse des agriculteurs en fonction de leur localisation :	Sous-zone 1	Sous-zone 2	Sous-zone 3	Sous-zone 4	Total
il y a plus d'infestation en grande saison des pluies			2	1	3
il y a plus d'infestation en petite saison des pluies			2		2
l'infestation ne dépend pas des saisons des pluies	2	1	1		5
ne sait pas	4	3	10	1	18

Tableau 4. Nombre d'agriculteurs répondant à la question de la variabilité temporelle des infestations, selon leur situation spatiale. Kajulu, Kenya, 2011/

Dans leur comparaison de l'infestation d'une année à l'autre, les observations sont également contradictoires : une agricultrice de la sous-zone 2 observe plus de pucerons cette année par rapport aux précédentes, à cause du manque d'eau, dit-elle. D'autres au contraire, déclarent avoir moins de pucerons dans leurs champs cette année.

La variabilité de l'infestation est donc difficile à évaluer objectivement : soit les infestations sont différentes partout au même moment, et ne suivent pas une même tendance, soit les affirmations des agriculteurs sont basées sur des observations distinctes, et ne sont pas comparables entre elles.

2.2.3 Protection des cultures

Les traitements phytosanitaires sont restreints : seulement quelques agriculteurs les appliquent sur la monoculture de maïs, et au cas par cas. En effet les produits coûtent cher, et ils ne sont donc utilisés que pour des cultures destinées à la vente. Les agriculteurs enquêtés assurent que les champs de canne à sucre ne reçoivent pas de traitement chimique pesticide, l'ensemble du terrain d'étude est donc relativement peu pollué par des intrants chimiques.

La connaissance des vertus des produits naturels permet de traiter les cultures contre les *kute* (bioagresseurs) à un coût nul. Le premier moyen de lutte exposé lors des enquêtes, est la dispersion de cendres sur les feuilles infestées. Cette connaissance est très répandue mais seulement une partie des agriculteurs enquêtés (6/27) affirmait la pratiquer réellement.

Une autre technique de protection des cultures consiste en la fabrication d'une décoction insecticide à base de trois plantes « *abaki* » (*Warbugia ugandensis*, Canellaceae), « *obino* » (*Cassia Siamea*, Caesalpiniae), et « *okinga* » (*Ocimum kilimandscharicum*, Lamiaceae), mélangées à de l'urine de vache et des cendres. Cependant, on peut se demander si cette pratique est véritablement traditionnelle ou bien plutôt acquise suite aux interventions des ONG. En effet, ce savoir n'est partagé que par un nombre réduit d'agriculteurs, et aucun ne le met en pratique.

D'autres pratiques de protection des cultures sont mises en place par les agriculteurs, en mode préventif, telles que le labour précoce et la rotation des cultures.

2.2.4 Comment conçoivent-ils la pression ?

La pression, dans les modèles conventionnels de l'agriculture industrialisée, est une notion qui décrit le degré d'infestation d'un ravageur dans une parcelle. Lorsqu'elle atteint un niveau critique, le seuil d'intervention, elle déclenche une action de la part de l'agriculteur.

Sur le site d'étude, nous avons cherché à approcher ce concept lors de nos échanges avec les agriculteurs.

Pour les agriculteurs questionnés, la pression est déterminée par l'abondance de pucerons qui envahissent leurs cultures, à un moment donné, et sur un organe donné. Certains affirment que l'attaque des pucerons est plus dommageable lorsqu'elle se concentre sur les fleurs (2^e réunion). Un agriculteur de la sous-zone 1 déclare au cours de la 2^e réunion, que l'infestation est critique quand les pucerons arrivent avant la formation de la vrille car ils prélèvent le « fluide » de la plante, qui n'en a alors plus assez pour grandir ; s'ils arrivent après, alors la croissance du haricot peut se poursuivre.

Pourtant, s'ils connaissent les pucerons et sont conscients de leur potentiel impact négatif sur les cultures, la majorité des agriculteurs enquêtés ne mettent pas en place des

mesures de protection des cultures contre les bioagresseurs (21/27 enquêtés). Le seuil d'intervention est donc rarement franchi, et les raisons invoquées sont : une infestation suffisamment faible, le manque de temps, ou encore le manque d'accessibilité de la culture : les champs en association culturale ayant un couvert parfois très dense.

2.2.5 Perçoivent-ils la régulation naturelle ?

Les agriculteurs enquêtés ne connaissent pas les mécanismes naturels de régulation des populations de pucerons : ni les maladies, ni les insectes prédateurs ou parasites.

Ils reconnaissent cependant les coccinelles, qu'ils différencient des autres insectes par le nom *kulundeng*, mais ne connaissent pas leur rôle dans la régulation naturelle des pucerons.

Afin d'évaluer scientifiquement la pression des pucerons et l'importance de leur régulation naturelle, ainsi que leur relation avec les éléments de paysage, nous avons réalisé des observations qualitatives et quantitatives, dans le temps et dans l'espace.

3 Observations entomologiques

Les observations entomologiques réalisées dans cette étude ont consisté en (i) une observation quantitative de l'infestation des pucerons et de la présence de larves de prédateurs sur les plants de légumineuses cultivées (haricot et niébé), (ii) un inventaire des couples pucerons - ennemis naturels sur le terrain, présents sur les plants de haricots et les plantes cultivées ou non, des alentours immédiats, (iii) une mise en observation (élevage) des insectes : pucerons aptères, pucerons parasités ou supposés morts de mycose, larves et nymphes de prédateurs des pucerons, afin de statuer sur leur identité et leur état sanitaire.

3.1 **Modèle biologique : haricots – pucerons – ennemis naturels**

Le haricot cultivé dans notre zone d'étude est le haricot commun, *Phaseolus vulgaris* (différents cultivars) ainsi que le niébé, *Vigna unguiculata*, espèces appelées généralement « beans » par les agriculteurs. Les espèces de pucerons classiquement citées sur le haricot et le niébé sont respectivement *Aphis fabae* et *Aphis craccivora*.

La régulation naturelle des pucerons est réalisée par différents ennemis naturels : des prédateurs, des parasitoïdes et des champignons entomopathogènes.

3.1.1 **Pucerons : éléments de biologie et conséquences d'une infestation**

Les pucerons sont des insectes suceurs, ils plantent leur rostre dans la tige ou la feuille de la plante hôte et en sucent la sève et excrètent des miellats qui en séchant font des marbrures brillantes sur les plantes. D'un point de vue physiologique, les pucerons représentent « l'une des plus belles et des plus étonnantes réussites du règne animal » (Remaudière *et al.*, 1885), notamment par leur capacité à alterner les modes de reproduction : sexuée ou parthénogénétique, ovipare ou vivipare, et à alterner les plantes-hôtes (hétéroecie), selon les espèces (Remaudière *et al.*, 1885).

Les miellats produits par les pucerons entraînent la décoloration des feuilles, empêchant la photosynthèse. Leur attaque est particulièrement néfaste pour la croissance de la plante lorsque les colonies s'installent sur les jeunes pousses, ainsi que sur les fleurs qui peuvent alors avorter, réduisant les rendements. (Katwijukye, 1997).

De plus, les pucerons sont vecteurs de viroses, en particulier, *Aphis fabae* est vecteur de la mosaïque commune du haricot, qui est une maladie répandue pour *Phaseolus vulgaris*, en Afrique de l'Est (Allen, 1995).

3.1.2 **Ennemis naturels : prédateurs, parasitoïdes et entomopathogènes**

- Prédateurs :

Dans leur remarquable ouvrage sur l'écologie des aphides africains, Remaudière *et al.* (1985) notent que les prédateurs des pucerons en Afrique de l'Est sont classiquement :

- les Diptères Syrphidae, Chamaemiidae et Cecidomidae
- les Névroptères Chrysopidae et Hemerobiidae,
- les Coléoptères Coccinellidae
- les Hétéroptères Miridae et Anthocoridae

Les prédateurs, lorsqu'ils sont aux stades larvaires et/ou au stade adulte, se nourrissent de pucerons.

Dans son étude au Kenya, Ogenga-Latigo (1994) considère les coccinelles comme les principaux prédateurs des pucerons. Cependant, la prédation impliquant l'ingestion totale des pucerons, elle est difficile à mesurer directement. Des études doivent être conduites en laboratoire si l'on veut estimer leur voracité. Par exemple, dans son étude réalisée au Nigeria sur la prédation du puceron du niébé *Aphis craccivora* par la coccinelle *Cheilomenes vicina*, Ofuya (1986) a montré qu'il y a une forte corrélation entre la prédation et l'abondance en proies : lorsque celles-ci sont disponibles en grand nombre, la larve de coccinelle peut en consommer considérablement, bien plus que le minimum nécessaire à son développement. Elle peut dévorer près de 60 pucerons par jour au 4^e stade larvaire, et l'adulte femelle plus de 65. Ceci est une réponse fonctionnelle.

Selon les espèces, le syrphe peut dévorer de 200 à 400 pucerons au cours des dix jours de son stade larvaire, ce qui fait de lui aussi un prédateur majeur. Cependant, Bordat (1995) signale que les connaissances se concentrent surtout sur les syrphes en Europe.

- Parasitoïdes

Les parasitoïdes de pucerons sont le plus souvent des hyménoptères de deux familles : Aphidiidae (Ichneumonidea) et Aphelinidae (Chalcidoidea). La femelle pond ses œufs dans l'abdomen du puceron (cf. Figure 9 Photographie 8), et les larves issues de ceux-ci se développent à l'intérieur du corps des pucerons, ce qui provoque leur mort. Après 8 jours environ, la larve parasitoïde entre en métamorphose et devient nymphe à l'intérieur du puceron, ce qui lui donne un aspect gonflé et une couleur cuivrée ; il est appelé momie. Lors de son émergence, le jeune adulte parasitoïde découpe un trou circulaire dans l'exosquelette durci de la momie (voir Figure 8).

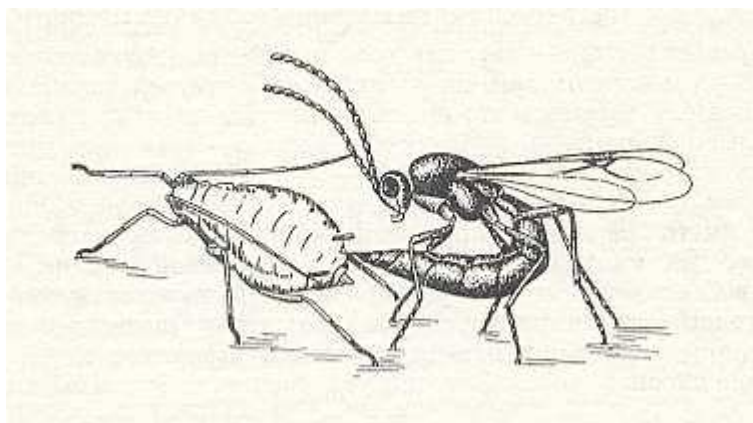


Figure 9. Dessin d'oviposition d'une femelle aphidiide *Lysiphlebus testaceipes* Cress. dans un puceron (Source : Berland, 1951)



Photographie 8. Corps momifié d'un puceron dont le parasitoïde a émergé : le trou circulaire d'émergence est visible. Kajulu, Kenya.

L'hyperparasitisme est un comportement très évolué, qui implique le développement d'un parasite secondaire, ou hyperparasite, aux dépens d'un parasite primaire, se développant lui-même au sein d'un insecte hôte. On distingue l'hyperparasitoïde obligatoire du facultatif (Sullivan, 1987).

- Champignons entomopathogènes

Les champignons entomopathogènes se développant sur les pucerons sont principalement représentés par l'ordre des *Entomophthorales*. Le vent ou la pluie dépose des conidies sur le corps du puceron. Un tube germinatif issu de la conidie permet la pénétration à travers le tégument de l'insecte, et l'infection. Le champignon se développe aux dépens des tissus internes de l'hôte, qu'il envahit complètement au bout de quelques jours. Le puceron prend alors un aspect gonflé, le rostre est piqué dans la plante hôte et les ailes sont souvent légèrement écartées. Tous les stades de développement du puceron, sauf les œufs, sont susceptibles d'être infectés. Une vingtaine d'espèces d'Entomophthorales s'attaque aux pucerons. Dans des conditions abiotiques favorables (température, humidité relative, pluies et lumière), certaines d'entre elles peuvent être responsables de véritables épizooties dans les populations de pucerons, ce qui fait des entomopathogènes un de leurs ennemis naturels les plus importants (Latgé et Papierok, 1988).

L'ensemble des relations trophiques impliquant le modèle biologique haricots-pucerons-ennemis naturels est récapitulé dans un schéma : Figure 10.

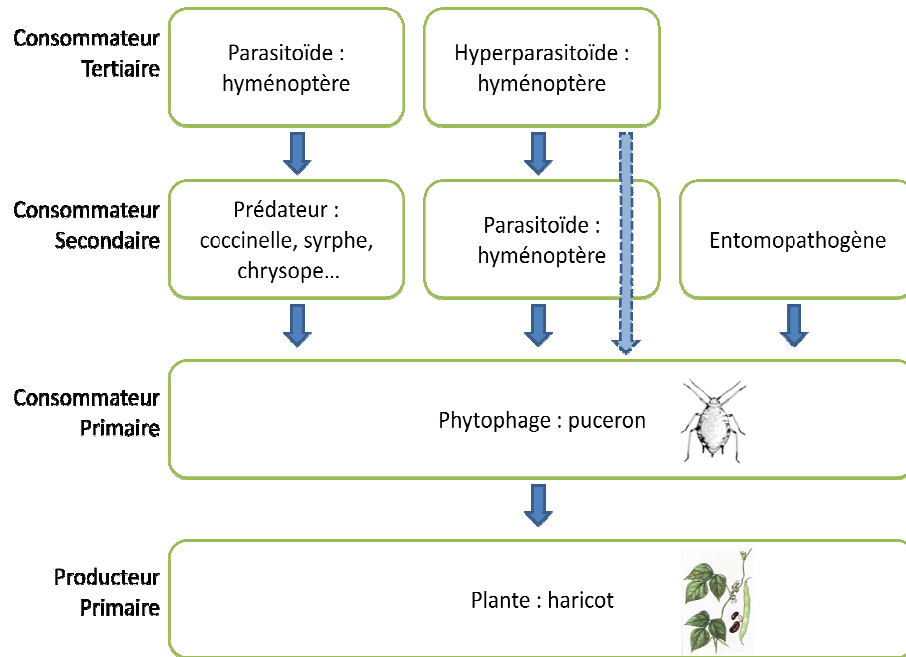


Figure 10. Chaîne trophique du complexe d'arthropodes rencontré sur le haricot montrant les différents niveaux trophiques de régulation naturelle. La flèche en pointillé signale le lien d'hyperparasitisme facultatif.

3.2 Hypothèses

Le potentiel des haies pour la régulation naturelle des ravageurs n'est pas nouveau : il a été mis en évidence dans les années 1970 par Van Emden et Williams (1974) ; cependant, le besoin aujourd'hui de diminuer les traitements chimiques pour contrôler les ravageurs, mène à étudier de nouveau la complexité du paysage comme un moyen de combattre les ravageurs (Joannon *et al.*, 2008),

Les plantes pérennes des haies et bosquets représentent des refuges pour les insectes en général : ils peuvent jouer le rôle de réservoirs pour les pucerons hétéroeciques. Le maintien de populations de pucerons permet d'entretenir des populations d'ennemis naturels, tels les coccinelles (Van Emden, 1981 ; Roschewitz *et al.*, 2005). Ces plantes sont aussi source de nectar et de pollen servant de nourriture capitale pour la fertilité de la plupart des diptères et hyménoptères durant leur stade adulte, lorsqu'ils ne sont pas entomophages (Southwood *et al.*, 1970).

En regard de la littérature, et par rapport au sujet de l'étude portant sur la variabilité spatiale et temporelle de la pression des pucerons et de leurs ennemis naturels, deux hypothèses ont été posées:

- (1) la diversité et la complexité du terrain d'étude permet une régulation naturelle des pucerons ;
- (2) les haies en tant qu'éléments pérennes du paysage, servent de refuges aux pucerons et aux ennemis naturels.

Pour aborder ces hypothèses, des questions sous-jacentes précises sont formulées et traitées dans les résultats, abordant d'abord les pucerons, puis les prédateurs:

- Les haies sont-elles des réservoirs à pucerons ?
- Existe-t-il d'autres réservoirs à pucerons ?
- Quel est l'effet bordure sur l'infestation des pucerons ?
- Comment l'infestation des pucerons évolue-t-elle, de manière spatiale et temporelle ?

- Les haies sont-elles des réservoirs à prédateurs ?
- Y a-t-il davantage de prédation lorsqu'il y a davantage de pucerons ?
- Comment la présence des prédateurs évolue-t-elle, de manière spatiale et temporelle ?

3.3 Méthodes et dispositif

Pour tester ces hypothèses, nous avons appliqué les méthodes présentées ci-après.

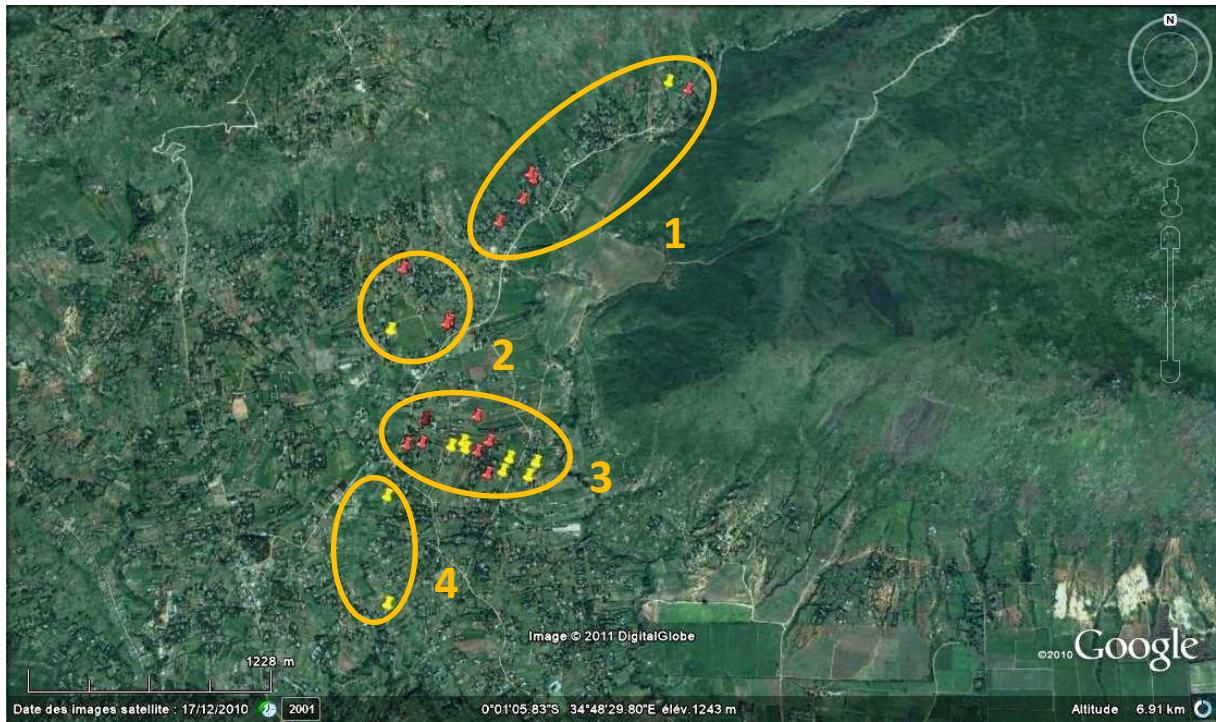
La zone d'étude a été subdivisée en quatre sous-zones écologiques, selon l'abondance des espaces semi-naturels (haies, arbres), l'environnement physique et les cultures pratiquées (sur la base de la Figure 6 : « description schématique de la zone d'étude : niveau 3 »). La Photographie 99 montre la zone d'étude, avec les 4 sous-zones écologiques et les champs suivis hebdomadairement (épingles jaunes) ainsi que les champs suivis ponctuellement (épingles rouges). La Photographie 10 montre une vue en plongée depuis les montagnes vers le Sud. La Photographie 11 illustre les 4 sous-zones écologiques.

- 1 : fond de vallée fermée par les montagnes, cultures vivrières et réseau dense d'éléments semi-naturels : longueur des haies : 200m/ha, altitude : entre 1260 et 1230m, sols sableux latéritiques peu fertiles sans intervention de l'agriculteur ; en contact avec la zone de piémont au Nord-Ouest, les montagnes, ainsi que la grande jachère pâturée au Sud Est, toutes trois réservoirs potentiels de prédateurs de pucerons et de parasitoïdes.

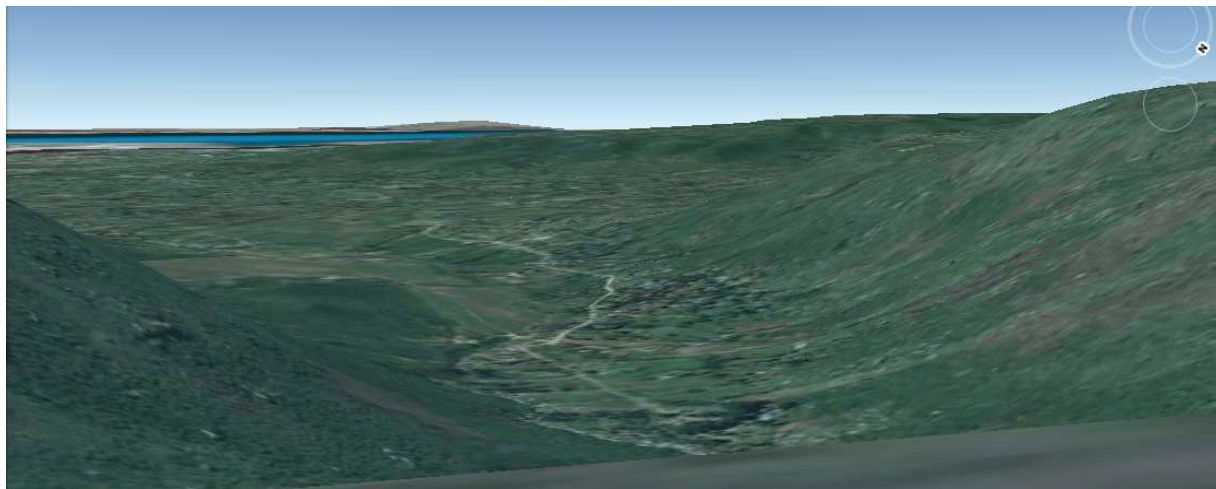
- 2 : à l'interface des zones de cultures vivrières et de culture de canne à sucre, réseau d'éléments semi naturels : longueur des haies 100m/ha, altitude : entre 1260 et 1230m, sols sableux latéritiques peu fertiles sans intervention de l'agriculteur ; en contact avec la zone de piémont au Nord, dont l'interface est valorisée en sylviculture, constituant des patches d'habitats potentiels pour les ennemis naturels.

- 3 : centre très densément peuplé avec mosaïque de champs en culture vivrière et réseau très dense de haies : 300m/ha, altitude : entre 1220 et 1210m, sols sablo-argileux relativement fertiles; en contact avec une zone ouverte de culture de canne à sucre à l'Est.

- 4 : bas-fond de la vallée de Kajulu : langue d'1km de long sur 100 à 200m de large, cultivée en canne à sucre majoritairement avec quelques inclusions de champs en cultures vivrières, absence d'arbres et très peu de haies : 30m/ha, altitude : 1210m, espace ouvert, vertisol noir profond, fertile, surnommé « cotton soil » en Afrique de l'Est ; en contact à l'Est et à l'Ouest avec des zones de cultures vivrières aux caractéristiques de la sous-zone écologique 3.



Photographie 9. Vue aérienne de Kajulu avec les champs suivis et les quatre sous-zones écologiques caractérisées. Les épingles jaunes symbolisent les champs suivis de façon hebdomadaire, les épingles rouges symbolisent les champs suivis de façon ponctuelle.



Photographie 10 Vue en plongée de la zone d'étude : Kajulu. Prise depuis le fond de la vallée à l'extrémité montagneuse nord, à gauche et à droite : les Nandi Hills, qui s'ouvrent progressivement tandis que le fond de la vallée, cultivé, s'élargit. Au loin, le lac Victoria. (Source : Google Earth 2011)



Photographie 11. Comparaison des 4 sous-zones écologiques caractérisées à Kajulu.

Il était impossible de sélectionner des parcelles dans les sous-zones de canne à sucre, le haricot n'y étant pas cultivé.

3.3.1 Choix des champs

Les champs ont été choisis de manière à explorer la diversité qui caractérise notre zone d'étude. Dans le contexte de cette étude, il n'est pas possible de choisir des champs semblables qui pourraient constituer autant de tant de répétitions possibles, au sens statistique du terme.

La complexité et l'intensité d'utilisation des terres rendent parfois difficile la délimitation précise d'un champ de haricot. En effet, au sein d'un même champ, de nombreuses cultures peuvent être associées de manière éparse, avec parfois des massifs de bananiers au sein du champ de haricot (cf. Photographie 12).



Photographie 12. Extrémité du champ n°17 : champ de maïs-haricot avec bananiers et napier (herbe à éléphant) plantés au sein du champ. Kajulu, Kenya, 2011.

La notion de « haies » a été revue au sens large afin d’englober les haies buissonnantes, arbustives ou arborées, plus ou moins denses mais constituant un continuum à moins de deux mètres du bord du champ.

Au sein de ces quatre sous-zones, des champs de haricot ou de niébé en association avec céréales ou en culture pure, ont donc été choisis, selon des critères sociologiques (en lien avec la thèse de D. Birman, voir partie 2) et selon trois critères biophysiques adaptés aux contraintes du terrain et aux contraintes de temps par rapport au cycle du haricot :

- Critère 1 : taille de parcelle : minimum 70 m².
- Critère 2 : développement du haricot ou du niébé : minimum stade 2 sur l’échelle BBCH (voir annexes) (Meier, 2001).
- Critère 3 : environnement immédiat du champ : ouvert ou fermé (avec ou sans haies).

Onze champs ont ainsi été suivis chaque semaine. Pour pouvoir compléter les données collectées, des relevés ponctuels ont été effectués dans 16 champs supplémentaires ; d’où un total de 27 champs observés (voir leurs caractéristiques en Tableaux 5 et 6).

# champ	Sous-zone	Suivi hebdomadaire	Suivi ponctuel	avec haies	sans haies
1	1	x			x
2	1		x		x
3	1		x	x	
4	1		x	x	
5	1		x	x	
6	1		x	x	
7	2		x	x	

8	2		x	x	
9	2		x		x
10	2	x		x	
11	3		x	x	
12	3		x	x	
13	3		x		x
14	3	x			x
15	3		x		x
16	3		x	x	
17	3	x		x	
18	3	x			x
19	3		x	x	
20	3		x		x
21	3	x		x	
22	3	x		x	
23	3		x		x
24	3	x		x	
25	3	x		x	
26	4	x			x
27	4	x			x
total		11	16	16	11

Tableau 5. Choix des champs, localisation et description. Kajulu, 2011.

# champ	surface (m ²)	espèce suivie	espèces en association	autres espèces présentes dans le champ
1	553	niébé	Sorgho	
2	98	haricot	Maïs	
3	72	haricots	Maïs	<i>Eucalyptus</i>
4	70	haricots	Maïs	<i>Eucalyptus</i>
5	1125	niébé	Sorgho	
6	496	haricots	Maïs	
7	594	niébé	Maïs-Arachide	
8	198	niébé	Maïs	
9	130	haricots	Maïs	
10	270	niébé	Haricot-Maïs-Arachide	bananiers
11	600	niébé	Maïs	
12	70	niébé	aucune	
13	238	haricots	Niébé-Maïs-Manioc	
14	240	haricots	Niébé-Maïs-Arachide	bananiers
15	72	haricots	Maïs	
16	70	niébé	Maïs-Manioc	<i>Eucalyptus</i>
17	429	haricots	Maïs	bananiers
18	760	Haricots	Maïs-Manioc	bananiers
19	280	Haricots	Maïs-Patate douce	
20	72	Haricots Mungo	aucune	bananiers

21	680	Haricots	Maïs	jamelonier
22	donnée manquante	Haricots	Maïs	bananiers
23	70	niébé	Sorgho	
24	660	Haricots	Niébé-Maïs-sorgho	avocatier
25	690	Haricots	Maïs	
26	595	Haricots	Maïs	
27	90	Haricots	Maïs	

Tableau 6. Surface, espèces suivies, espèces en association culturale, et autres espèces observées pour chaque champ suivi à Kajulu

Chaque champ a été dessiné afin d'en établir les caractéristiques : espèces cultivées, taille, champs alentours, haies, comme dans l'exemple donnée dans la Figure 11.

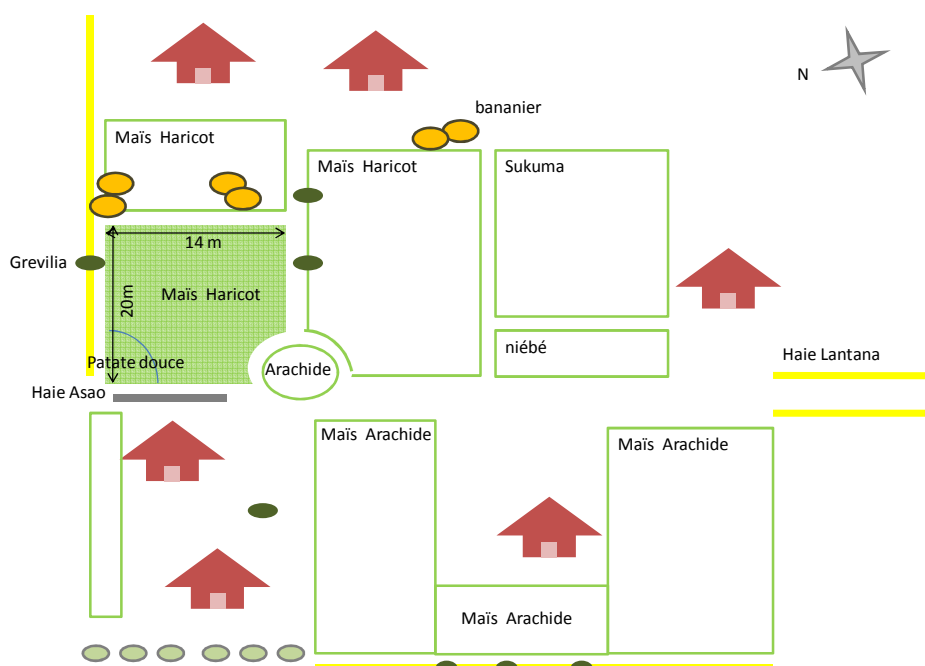


Figure 11. Schéma d'une parcelle étudiée, avec le champ observé en vert (champ numéro 19), et ses alentours : haies, arbres, autres champs, habitations. Kajulu, Kenya, 2011.

3.3.2 Echantillonnage des plants dans le champ

A l'échelle du champ, le dispositif est construit pour tester l'hypothèse d'un effet de bordure. Neuf plants de haricot ou de niébé ont été observés dans le champ (adaptation de la méthode de Bahana *et al.*, 1986) de manière spatialisée : en bordure, à 4 mètres de la bordure, et au centre du champ (méthode de Girma *et al.*, 2000) comme indiqué dans la Figure 12. L'observation est réitérée toutes les semaines (méthode de Girma *et al.*, 2000) pour les champs suivis.

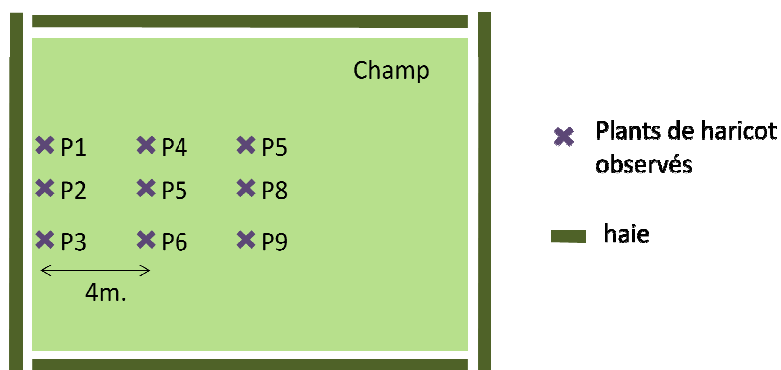


Figure 12. Schéma du mode d'échantillonnage des plants de haricot observés au sein du champ, Kajulu, Kenya, 2011

3.3.3 Relevés de l'infestation et de la régulation naturelle

La méthode utilisée pour relever l'infestation des pucerons sur les plants de haricot ou de niébé est inspirée de celle de Ogenga-Latigo, (1992b). Pour chaque plant de haricot observé, l'infestation est déterminée en notant le nombre de colonies de pucerons et leur taille. Celle-ci est estimée par classe, comme indiqué dans le Tableau 7.

Classe de la colonie de pucerons	Taille de la colonie (en nombre de pucerons)
Classe 1	Entre 5 et 30
Classe 2	Entre 30 et 100
Classe 3	Entre 100 et 500
Classe 4	Plant totalement infesté

Tableau 7. Classe des colonies de puceron en fonction du nombre de puceron.

Afin de traiter les relevés de l'infestation des pucerons, il est nécessaire de construire un coefficient pour donner un poids aux colonies selon leur classe. La méthode est adaptée de celle utilisée par Butani *et al.* (1984), dans son étude sur la relation entre les populations de pucerons et leurs prédateurs naturels. Ceci permet de déterminer l'index d'infestation du plant I_p , utilisé pour le calcul de l'effet de la haie, ainsi que l'infestation du champ I_c , utilisée pour l'ensemble des autres calculs :

$$I_p = (C1 * 1) + (C2 * 3) + (C3 * 6) + (C4 * 15)$$

$$I_c = \frac{\sum_k \binom{9}{1} [(C1 * 1) + (C2 * 3) + (C3 * 6) + (C4 * 15)]_k}{9}$$

Avec $C1$, $C2$, $C3$ et $C4$ le nombre de colonies respectivement de classe 1, 2, 3 et 4, sur le plant observé.

L'index d'infestation cumulée du champ, utilisé pour le calcul de corrélation, est la somme des I_p des 9 plants pour un champ.

L'observation des ennemis naturels se fait pour chaque plant : les momies et les larves de prédateurs sont dénombrées et ces dernières sont également identifiées par famille et si possible par genre.

3.3.4 Observation des haies

Autour de chaque champ, les haies ont été caractérisées par les espèces dominantes et leur hauteur, et régulièrement observées pour y détecter la présence de pucerons.

Par leur diversité et leur hétérogénéité à Kajulu, les haies ne sont pas des éléments du paysage simples à appréhender, en termes d'influence exercée sur les populations de pucerons. Une typologie des haies est établie dans le Tableau 8. Elle n'est pas stricte car elle ne prend en compte que les espèces dominantes, mais elle permet d'avoir un bon aperçu des haies à Kajulu. Les haies plurispécifiques ne sont pas régulières en hauteur, étant parfois composées à la fois de buissons taillés et d'arbres, la hauteur donnée ci-dessous est alors celle de l'espèce la plus abondante, pour refléter l'aspect général de la haie.

# champ	Sous-zone	espèces dominantes	hauteur (m)
3	1	<i>Eucalyptus, Pennisetum purpureum</i>	8
4	1	<i>Eucalyptus</i>	8
5	1	Manguier <i>Mangifera indica</i>	10
6	1	<i>Eucalyptus</i>	10
7	2	<i>Lantana camara, Euphorbia tirucalli, Eucalyptus</i>	3
8	2	<i>Grevilia robusta</i>	8
10	2	<i>Euphorbia tirucalli</i>	1,5
11	3	<i>Pennisetum purpureum</i>	2
12	3	"Asao" ²	1,5
16	3	<i>Eucalyptus</i>	8
17	3	<i>Lantana camara, Euphorbia tirucalli</i>	1,5
19	3	<i>Lantana camara, Grevilia</i>	2
21	3	<i>Lantana camara, Euphorbia tirucalli, Eucalyptus</i>	2
22	3	<i>Lantana camara</i>	2
24	3	<i>Lantana camara, Markhamia lutea, Musaceae, Psidium guajava, Grevilia robusta</i>	1,7
25	3	<i>Euphorbia tirucalli</i>	1,2

Tableau 8. Typologie des haies observées autour des champs sélectionnés. Kajulu, Kenya, 2011

Les principaux types de haies sont des haies de *Lantana camara* (6 haies), *Eucalyptus* (4 haies), ou *Euphorbia tirucalli* (2 haies).

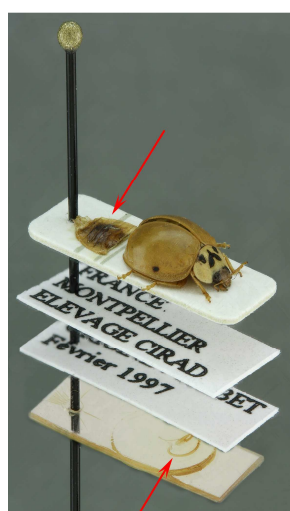
3.3.5 Prélèvements et identification

L'identification de certains insectes présents sur le terrain a nécessité leur collecte et leur élevage, leur conservation et leur montage. J'ai effectué la collecte en plaçant les insectes dans des boîtes aérées et étiquetées. L'élevage est nécessaire lorsque les insectes

² Plante arbustive légumineuse non identifiée lors de cette étude. « Asao » est le nom Luo qui lui est donné à Kajulu.

collectés sont au stade larvaire. En effet, ils ne peuvent être identifiés précisément qu'au stade adulte. Une ONG locale, CADIF Kenya, nous a prêté une salle aérée servant de laboratoire.

Les larves de prédateurs ont été régulièrement nourries de pucerons. Les feuilles de haricot ont été maintenues en état de turgescence pour nourrir les pucerons. Les pucerons momifiés ont été conservés dans des tubes jusqu'à l'émergence des parasitoïdes. Lorsque les insectes mis en observation atteignent le stade adulte, ils sont tués à l'acétate d'éthyle, puis conditionnés à sec sur mini couches, ou en alcool à 70° dans des tubes. La collecte d'insectes morts de mycoses a été effectuée selon la méthodologie de l'Institut Pasteur (Papierok *et al*, 1988). De retour en France, les quelques 150 échantillons ont été envoyés aux systématiciens pour montage (voir Photographie 13) puis identification : Jean-Claude Streito (ANSES) puis Valérie Balmes (ANSES) et Armelle Cœur d'Acier (ANSES) pour les pucerons, Henri Pierre Aberlenc (CIRAD) pour les coccinelles, Gérard Delvare (CIRAD) pour les parasitoïdes de coccinelle et de pucerons, puis Bernard Chaubet (Agrocampus Ouest) pour les parasitoïdes de pucerons.



Photographie 13 Exemple de montage d'une coccinelle *Harmonia axiridis* (non observée à Kajulu) par H. P. Aberlenc (source : Aberlenc, 2011, communication personnelle).

3.3.6 Outils statistiques

Les méthodes utilisées pour traiter les données sont d'une part, l'observation des données brutes et des comparaisons de moyennes avec l'erreur standard de la moyenne, d'autre part, des corrélations entre index de pucerons et abondance d'ennemis naturels, méthode adaptée à une étude exploratoire (Petit *et al.*, 2010). Enfin, les données suivant une loi quasi poisson, nous avons aussi réalisé (2) des modèles linéaires généralisés pour analyser la déviance des données. Trois modèles sont testés :

- en groupant les données de l'infestation de l'ensemble des champs, pour tester l'effet des haies, l'effet du manioc, l'effet de la distance à la bordure et l'effet des sous-zones écologiques

- en groupant les données de l'infestation des champs ayant une haie, pour tester l'effet des espèces dominantes dans la haie (*Eucalyptus*, *Lantana*, Euphorbe)

- en regroupant les données du nombre de prédateurs par champ, de l'ensemble des champs pour tester l'effet de l'infestation, l'effet dessous-zones écologiques et l'effet de la semaine de relevé

3.4 Résultats de l'étude biométrique

Pour répondre aux deux grandes hypothèses énoncées, des questions sont posées dans cette partie auxquelles on répond à l'aide des données récoltées sur le terrain.

3.4.1 Les haies: réservoirs à pucerons ?

Dans le cas de notre étude, l'effet des haies sur l'infestation des pucerons dans les champs est montré en Figure 13, à partir des données récoltées dans les champs suivis hebdomadairement et ponctuellement, à toutes les dates de relevé. Sur un total de 27 champs, 16 champs avaient une haie et 11 champs n'avaient pas de haies.

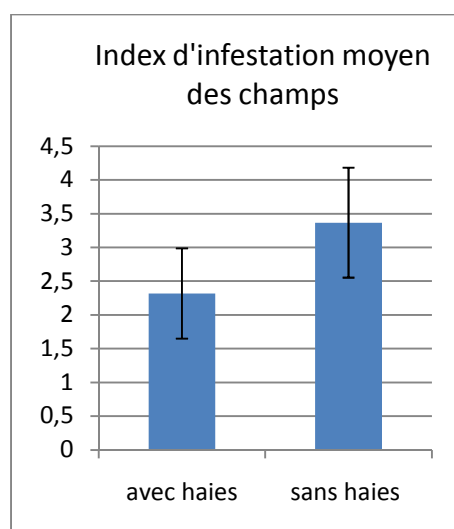


Figure 13. Index d'infestation moyen des champs (tous champs et toutes dates confondus) en fonction de la présence de haies (16 champs) ou de l'absence de haies (11champs). Kajulu, Kenya, 2011.

Le niveau d'infestation dans les champs entourés de haies est significativement inférieur au niveau d'infestation dans les champs sans haies (Figure 13).

Sur la base de ces résultats, on peut rejeter l'hypothèse d'une plus forte infestation de pucerons dans les champs avec haies, celles-ci ne constitueraient donc pas un réservoir à pucerons dans le cas de cette étude, à cette saison.

Dans la littérature, Van Emden (1964, 1965) a montré en Grande Bretagne que l'infestation de pucerons *Brevicoryne brassicae* sur le chou, était plus importante le long des bordures de champs sans haies que le long de champs avec haies. En effet, les pucerons auraient été transportés par le vent, et la présence d'ennemis naturels y était plus forte aussi : les femelles syrphes étaient attirées par les fleurs poussant le long du champ, elles s'en nourrissent en effet pour pondre.

Au cours des observations qualitatives sur les plantes des haies, peu de pucerons sont détectés : en petites colonies ou isolés, et ponctuellement seulement, sur *Gliricidia* et *Lantana camara*. Or la littérature permet de déterminer des espèces de pucerons présentes sur les espèces botaniques observées à Kajulu, au delà des haies observées. Les pucerons du haricot (*Aphis fabae*) et du niébé (*Aphis craccivora*) sont soulignés, pour faciliter la lecture : Tableau 9.

plantes hôtes	espèces de pucerons	source	pays
<i>Lantana camara</i>	<i>Aphis gossypii</i> , <i>Aphis citricola</i>	Remaudière, 1985	Burundi
<i>Eucalyptus</i> sp.	<i>Aphis gossypii</i> , <i>Toxoptera aurantii</i>	Remaudière, 1985	Burundi
<i>Euphorbia tirucalli</i>	<i>Aphis craccivora</i> , <i>Aphis tirucalli</i> , <i>Sitobion</i> sp.	Remaudière, 1985	Burundi
Musaceae	<i>Pentalonia nigronervosa</i>	Remaudière, 1985	Burundi
<i>Psidium guajava</i>	<i>Aphis gossypii</i> , <i>Myzus ornatus</i>	Remaudière, 1985	Burundi
<i>Carica papaya</i>	<i>Aphis fabae</i>	Remaudière, 1985	Burundi
<i>Mangifera indica</i>	<i>Aphis gossypii</i> , <i>Toxoptera aurantii</i> , <i>Toxoptera odinae</i> , <i>Sitobion krahi</i>	Remaudière, 1985	Burundi
<i>Gliricidia</i> sp.	<i>Aphis craccivora</i>	Girma 2000, Remaudière, 1985	Kenya, Burundi
<i>Pennisetum purpureum</i>	<i>Pseudaphis sijui</i> , <i>Sitobion bamendae</i> , <i>Sitobion pauliani</i> , <i>Sitobion papillatum</i> , <i>Sitobion yakini</i>	Remaudière, 1985	Burundi
<i>Amaranthus dubius</i>	<i>A. fabae</i> , <i>Macrosiphum euphorbiae</i> , <i>Myzus persicae</i> , <i>Rhopalosiphum padi</i>	Remaudière, 1985	Burundi
<i>Amaranthus</i> sp.	<i>A. gossypii</i>	Remaudière, 1985	Burundi

Tableau 9. Plantes observées dans les haies de Kajulu et leurs pucerons associés potentiels, signalés en Afrique de l'Est.

De nombreuses espèces botaniques non cultivées sont des plantes hôtes pour des pucerons.

Parmi les espèces botaniques des haies, *Lantana camara* et *Eucalyptus* sp. ne seraient pas des plantes hôtes des pucerons infestant le haricot et le niébé, tandis que *Euphorbia tirucalli* serait une plante hôte du puceron *Aphis craccivora*. Nous avons analysé l'effet de ces différentes espèces botaniques sur l'infestation des pucerons observés sur les haricots.

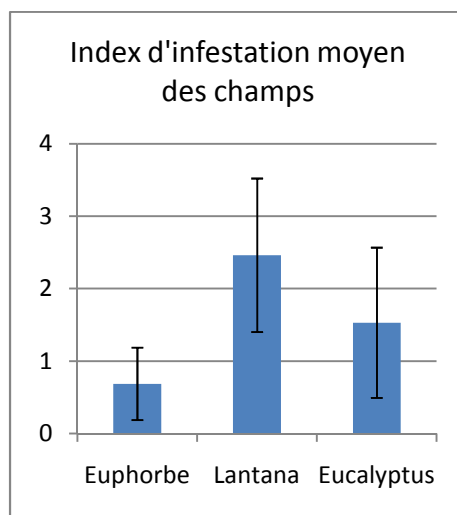


Figure 14. Index d'infestation moyen des champs (tous champs et toutes dates confondus), en fonction de l'espèce dominante dans la haie : Euphorbe (2 champs), Lantana (6 champs) ou Eucalyptus (4 champs) : moyennes et erreur standard de la moyenne. Kajulu, Kenya, 2011.

La Figure 14 montre que l'infestation des pucerons a tendance à être la plus forte pour les champs dont les haies sont composées majoritairement de *Lantana*, puis d'*Eucalyptus*, alors que justement ces espèces ne sont pas les plantes-hôtes des pucerons observés. Et l'infestation est la plus faible pour les haies d'Euphorbe, qui justement sont des plantes hôtes potentielle pour les pucerons du niébé. Cependant, des deux champs observés avec des haies

d'Euphorbes, un seul était cultivé en niébé. Une infestation plus forte aux abords de deux premiers types de haies pourrait être due à des conditions abiotiques favorables qu'elles entretiennent (températures, humidité) différentes des haies d'Euphrobe, qui sont taillées plus basses et qui sont moins denses.

L'analyse de la déviance ne montre pas d'effet significatif de l'espèce botanique dans la haie, sur le niveau d'infestation de pucerons.

Il est nécessaire de prendre des précautions pour interpréter ces résultats, sachant que le nombre d'échantillons pour chaque haie est très faible.

3.4.2 D'autres réservoirs à pucerons ?

En plus des haies, les autres interfaces autour des champs peuvent être des chemins, des espaces ouverts (pelouse autour des maisons) ou d'autres champs, qui peuvent être plantés de cultures différentes, présentant donc un cycle décalé et pouvant aussi jouer le rôle de réservoir à pucerons. Le Tableau 10 montre les couples pucerons/plantes-hôtes établis en Afrique de l'Est à partir de la littérature, pour les plantes présentes à Kajulu. Les pucerons du haricot (*Aphis fabae*) et du niébé (*Aphis craccivora*) sont soulignés de nouveau, pour faciliter la lecture.

plantes hôtes cultivées	espèces de pucerons	source	pays
<i>Ipomea batatas</i> (Convolvulaceae)	<i>Aphis gossypii</i> , <i>Macrosiphum euphorbiae</i> , <i>Mysus persicae</i> , <i>Aulocorthum solani</i> .	Remaudière, 1985	Burundi
<i>Arachis hypogaea</i> (Fabaceae)	<u><i>Aphis craccivora</i></u>	Remaudière, 1985	Burundi
<i>Manihot esculentus</i> (Euphorbiaceae)	<u><i>Aphis fabae</i></u>	Remaudière, 1985	Burundi
<i>Zae Mais</i> (Poaceae)	<i>Aphis gossypii</i> , <i>Geoica lucifera</i> , <i>Macrosiphum euphorbiae</i> , <i>Melanaphis saccari</i> , <i>Mysus persicae</i> , <i>Rhopalosiphum maidis</i> , <i>R. padi</i> , <i>Schizaphis graminum</i> , <i>Sitobion africanum</i> , <i>S. avenae</i> , <i>S. howlandae</i>	Remaudière, 1985	Burundi
<i>Sorghum</i> sp. (Poaceae)	<i>Melanaphis saccari</i> , <i>Rhopalosiphum maidis</i> , <i>Sitobion</i> sp.	Remaudière, 1985	Burundi
<i>Phaseolus vulgaris</i> (Leguminosae)	<u><i>Aphis fabae</i></u> , <u><i>Aphis craccivora</i></u> , <i>Macrosiphum euphorbiae</i> , <i>Mysus persicae</i> , <i>Aulocorthum solani</i>	Remaudière, 1985	Burundi
<i>Vigna unguiculata</i> (Leguminosae)	<u><i>Aphis craccivora</i></u>	Remaudière, 1985	Burundi

Tableau 10. Plantes observées dans les champs de Kajulu et leurs pucerons associés potentiels, signalés en Afrique de l'Est.

Par exemple le manioc (*Manihot esculentus*, Euphorbiaceae), est une plante hôte de *Aphis fabae* (Remaudière *et al.*, 1985). A Kajulu, il est présent aux alentours immédiats de près d'un tiers des champs sélectionnés. Le manioc se caractérise par un cycle cultural d'une dizaine de mois :il est récolté à la fin de la saison sèche à Kajulu. Cette culture n'est pas pérenne, mais elle s'inscrit sur une échelle temporelle différente de celle du haricot ou du niébé. Elle pourrait potentiellement jouer le rôle de plante hôte relais entre deux saisons des pluies.

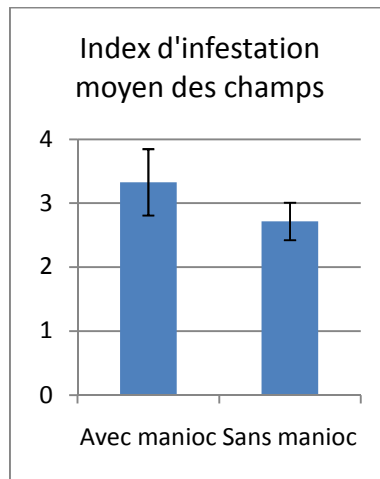


Figure 15. Comparaison de l'index d'infestation moyen des champs en fonction de la présence ou l'absence de manioc dans leur proximité immédiate. Kajulu, Kenya, 2011.

La Figure 15 montre que l'index d'infestation des champs a tendance à être plus élevé lorsqu'il y a présence de manioc proximité immédiate du champ, que lorsqu'il n'y en a pas. L'analyse de la déviance ne montre cependant pas d'effet du manioc sur le niveau d'infestation des pucerons.

3.4.3 L'effet bordure sur l'infestation des pucerons

On veut tester d'une plus forte infestation en bordure de champ, en utilisant l'index d'infestation du plant.

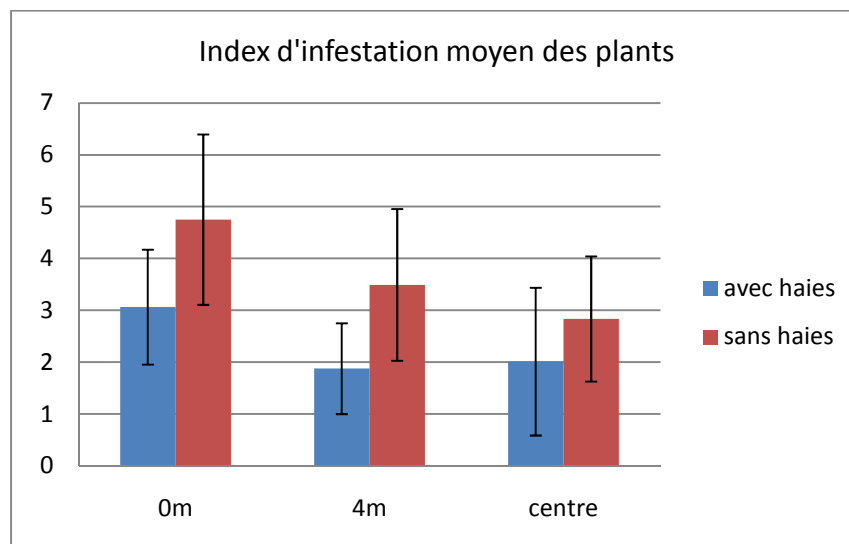


Figure 16. Index d'infestation moyen des plants en fonction de leur distance à la bordure, pour les champs avec haies (16 champs) et les champs sans haies (11 champs), toutes dates confondues. Kajulu, Kenya, 2011.

L'index d'infestation moyen des plants montre une tendance à être plus élevé au bord des champs (à 0m), qu'à 4m du bord ou qu'au centre, et ce, concernant les champs avec haies et sans haies. L'analyse de la déviance montre qu'il y a un effet de la distance à la bordure ($p=0$).

3.4.4 Infestation des pucerons : variabilité spatiale et temporelle

Les relevés des champs suivis dans le temps ont permis de visualiser une partie de l'évolution des infestations des pucerons. Les contraintes du terrain ont limité la période d'observation à la dernière semaine du mois d'Avril et aux 4 semaines de Mai 2011. Il n'a pas été possible de visualiser les niveaux d'infestation lors des deux premières semaines de Juin. La dernière sortie sur le terrain du 15 Juin a permis de constater que la récolte de haricots était en cours.

Dans la Figure 17, les données des 4 premières semaines sont celles relevées dans les champs suivis hebdomadairement, tandis que les données de la 5^e semaine sont les résultats des champs relevés ponctuellement.

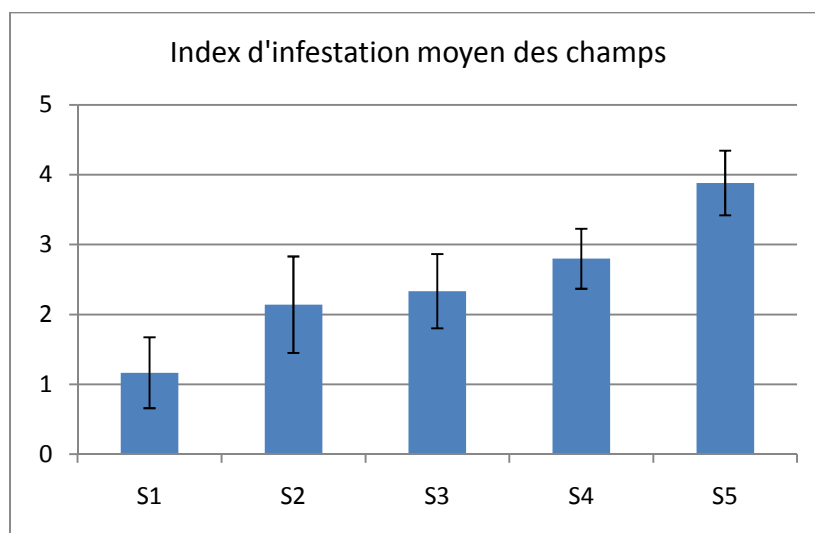


Figure 17. Index d'infestation moyen des champs dans l'ensemble de la zone d'étude, en fonction de la semaine de relevé : semaines de 1 à 5. Kajulu, Kenya, 2011.

Les niveaux d'infestation ont tendance à augmenter en moyenne dans l'ensemble des champs, au cours du temps. Cependant, à l'échelle de chaque champ, la variabilité de l'infestation est importante. La Figure 18 permet de visualiser clairement les données sans le biais de la moyenne. Elle montre une grande dispersion des données (moyenne=2,6 et variance=5,3), c'est-à-dire une grande variabilité de l'infestation selon les champs et au cours du temps ; ce qui est à mettre en parallèle avec le système complexe que représente Kajulu.

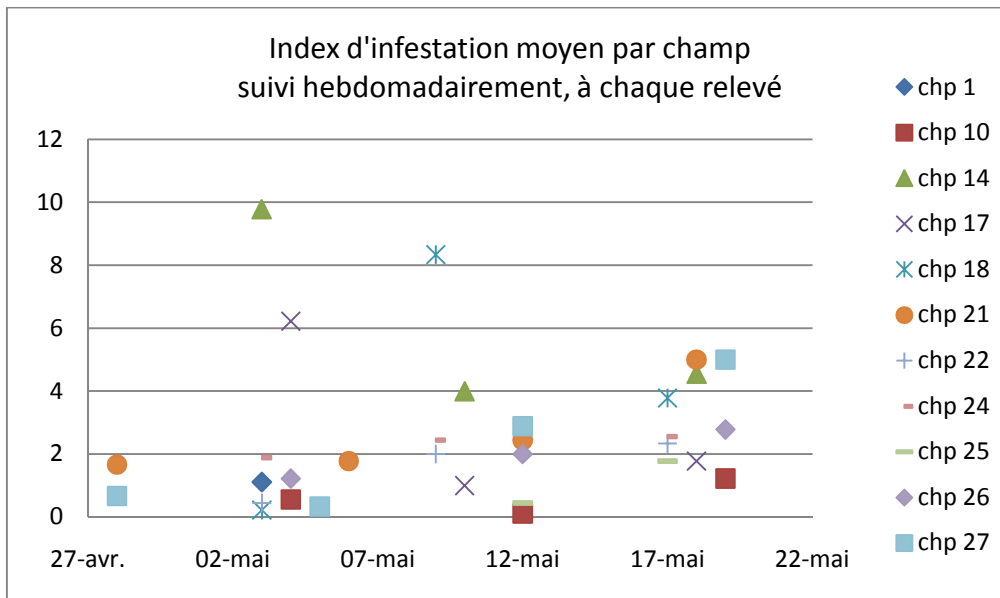


Figure 18. Index d'infestation moyen des champs, pour chaque champ suivi hebdomadairement, à chaque relevé effectué à Kajulu, Kenya, 2011

Différentes dynamiques d'infestation sont visibles sur la Figure 18, et peuvent être regroupées selon les tendances suivantes:

- l'infestation commence à un niveau faible et augmente à mesure du temps (champs 21, 25, 26, 27)
- l'infestation reste toujours faible (champs 1, 10, 22, 24)
- l'infestation commence élevée puis diminue et se stabilise (champs 14 et 17)
- l'infestation augmente puis diminue (champ 18)

Les tendances des dynamiques de ces champs ont été comparées avec d'autres données pour chercher des facteurs explicatifs à ces différences, telle la situation dans l'espace, l'espèce de plante observée (haricot ou niébé), la composition du champ en espèces cultivées et la date de semis ; mais aucun facteur explicatif n'apparait. Ceci peut être dû au fait que le nombre de champs comparés est alors très réduit et les variables explicatives peuvent être très nombreuses, et agrégatives. Une telle approche serait cependant intéressante, à l'aide d'un dispositif adapté.

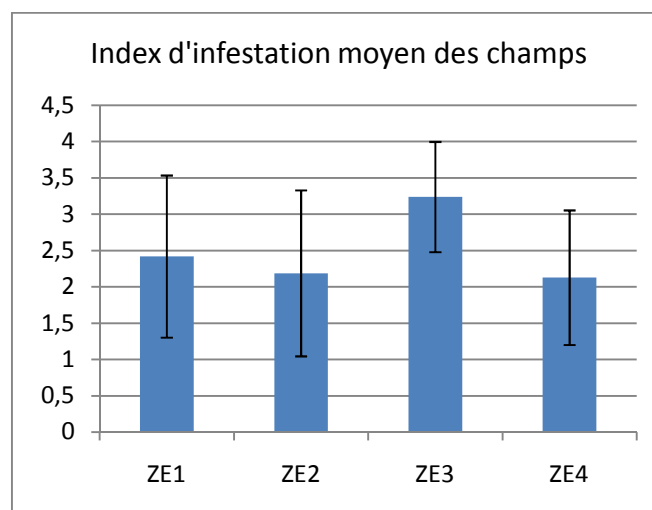


Figure 19. Index d'infestation moyen des champs selon la sous-zoneécologique, toutes dates confondues. Kajulu, Kenya, 2011

La Figure 19 montre l'index d'infestation moyen des champs selon la zone écologique dans lesquels ils se trouvent. La sous-zone 3 montre une tendance à être plus infestée par les pucerons, bien que l'analyse de la déviance ne montre pas d'effet des sous-zones écologiques sur le niveau d'infestation.

Pour visualiser les différences spatialisées dans la dynamique d'infestation, les données sont comparées selon les sous-zones écologiques dans la Figure 20.

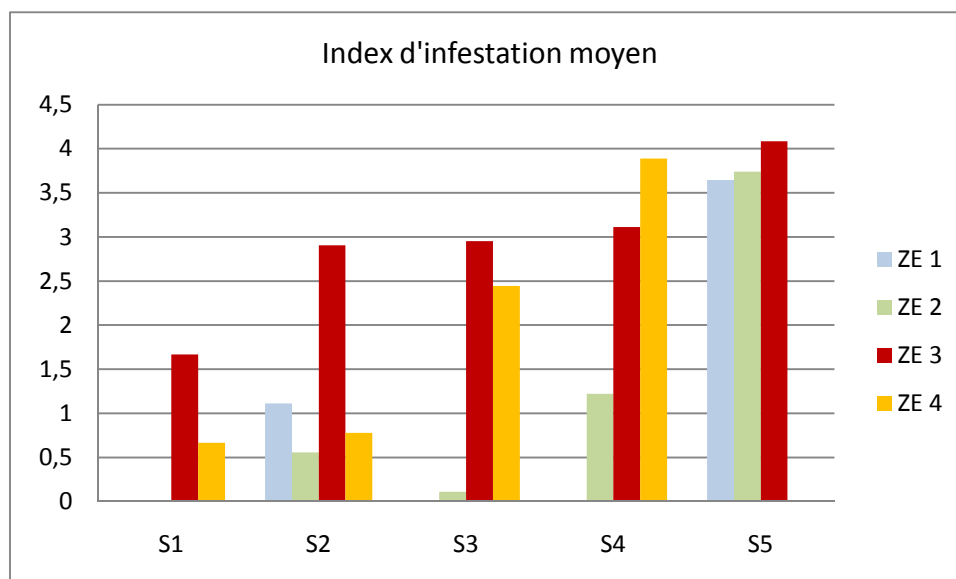


Figure 20. Index d'infestation moyen des champs en fonction des semaines de relevés, pour les quatre zones écologiques. Kajulu, Kenya, 2011

Sur la base de ces données, des dynamiques d'infestation différentes se dessinent selon les sous-zones écologiques. La sous-zone écologique 3 présente en effet un index d'infestation supérieur à celui des autres sous-zones, en début de période : jusqu'à la 3^e semaine. Or cette sous-zone écologique est caractérisée par un intense réseau de haies, et une mosaïque de champs très fine. Si la concentration en plantes hôtes des pucerons *Aphis craccivora* et *Aphis fabae* joue le rôle de refuge pour les pucerons, ceci pourrait expliquer une infestation plus importante dans les champs, dès le début du cycle de culture du haricot.

Concernant l'infestation en sous-zone écologique 4, elle commence à un niveau plus faible mais sa pente est plus forte. Or cette zone-ci se caractérise par l'absence de haies, et un paysage plus ouvert que les autres zones. La sous-zone écologique 3 pourrait donc jouer le rôle de réservoir à pucerons pour les autres sous-zones alentours.

Les index d'infestation des sous-zones écologiques 1 et 2 sont représentés dans ce graphique à partir d'un seul jeu de données : un seul champ était suivi pour chacune de ces sous-zones (sauf en semaine 5, où les données sont issues de l'observation ponctuelle des champs). Ces résultats sont donc difficiles à interpréter.

En semaine 5, le niveau d'infestation des champs suivis ponctuellement est alors équivalent dans toutes les sous-zones écologiques représentées.

Ainsi, nous avons vu que le niveau d'infestation des pucerons a tendance à être plus élevé :

- lorsqu'il y a absence de haies autour du champ,
- lorsque l'espèce dominante de la haie est *Lantana camara* ou bien l'*Eucalyptus*, bien que ces espèces ne soient pas des plantes-hôtes des pucerons étudiés,
- sur les plants qui sont proches de la bordure,

Nous avons également constaté une augmentation de l'infestation moyenne, mais avec une forte variabilité des relevés, dans le temps, et une tendance de la sous-zone écologique 3 à montrer un plus fort niveau d'infestation.

De la même manière, nous analysons les données portant sur les insectes prédateurs dans les paragraphes ci-dessous.

3.4.5 Les haies : un réservoir à prédateurs ?

Nous avons vu au paragraphe 3.4.1 qu'un grand nombre d'espèces botaniques représente des plantes hôtes potentielles pour de nombreuses espèces de pucerons. Ces plantes peuvent donc constituer un réservoir de nourriture pour des prédateurs polyphages. Nous comparons la présence de prédateurs comptés par champ (somme des comptages sur 9 plants observés), dans les champs avec haies et dans les champs sans haies.

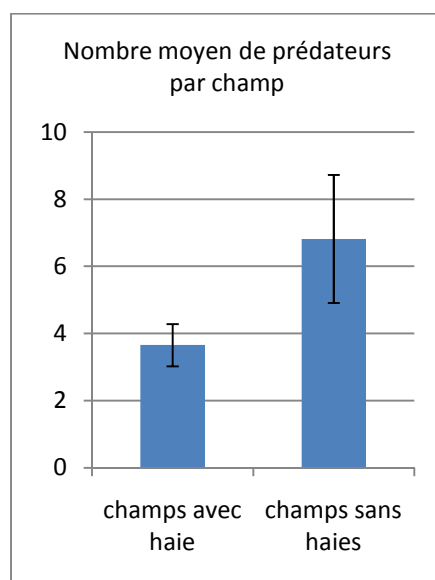


Figure 21. Nombre moyen de prédateurs par champ (tous champs et toutes dates confondus) en fonction de la présence de haies (16 champs) ou de l'absence de haies (11 champs). Kajulu, Kenya, 2011.

La Figure 21 montre que la moyenne des prédateurs par champ est supérieure pour les champs sans haies par rapport à celle des champs avec haies. La même tendance était observée pour l'infestation de pucerons.

Dans la littérature, la présence de haies autour du champ est souvent synonyme de plus fortes densités de populations de prédateurs polyphages (Altieri, 1999). Or à Kajulu, on constate le phénomène inverse par rapport aux haies. La complexité du paysage rend plus large la notion de haie en tant que source de nourriture alternative ou de refuge. En effet, les cultures alentours tel le manioc, le chou, le maïs ou le sorgho sont aussi attaquées par des pucerons, et sont susceptibles de constituer ainsi un continuum de source de nourriture pour

les prédateurs. Les pucerons des champs considérés comme sans haies dans cette étude, pourraient être une source de nourriture plus accessible.

La comparaison du nombre moyen de prédateurs par champ selon l'espèce dominante de la haie est montrée en Figure 22.

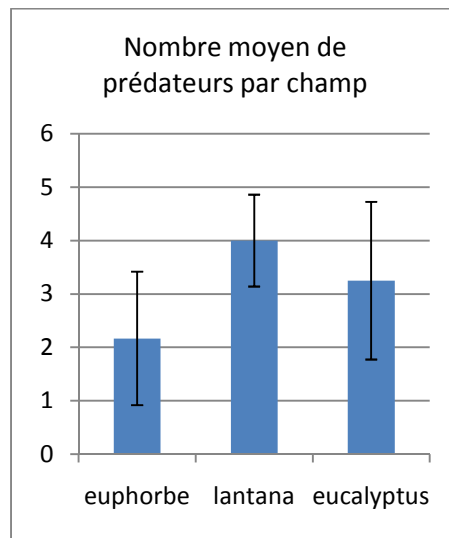


Figure 22. Nombre moyen de prédateurs par champ selon l'espèce dominante de la haie. Kajulu, Kenya, 2011

Ces résultats ne sont pas significativement différents. Dans son étude sur les pucerons et leurs ennemis naturels au Kenya, Girma *et al.* (2000) tire la même conclusion de son étude : il constate que les différentes haies n'ont pas d'impacts significatifs sur l'abondance des coccinelles.

Cependant, des tendances se dégagent de cette Figure 22 : il y a plus de prédateurs dans les champs bordés de haies de *Lantana* que dans les champs bordés de haies d'*Eucalyptus*, et il y a moins de prédateurs dans les champs bordés d'euphorbes. Les mêmes tendances étaient observées pour l'infestation des pucerons ; nous testons donc la corrélation entre abondance de pucerons et abondance de prédateurs.

3.4.6 Davantage de prédateurs lorsqu'il y a davantage de pucerons ?

Nous nous demandons s'il y a plus d'ennemis naturels lorsqu'il y a plus de pucerons dans les champs : y a-t-il densité-dépendance ? Pour cela, la corrélation entre le niveau d'infestation de pucerons, représenté par un index d'infestation cumulée du champ, et le nombre de prédateurs par champ, est testée en Figure 23. Ce traitement des données est effectué avec les données de comptage des colonies de pucerons et des prédateurs dans les champs.

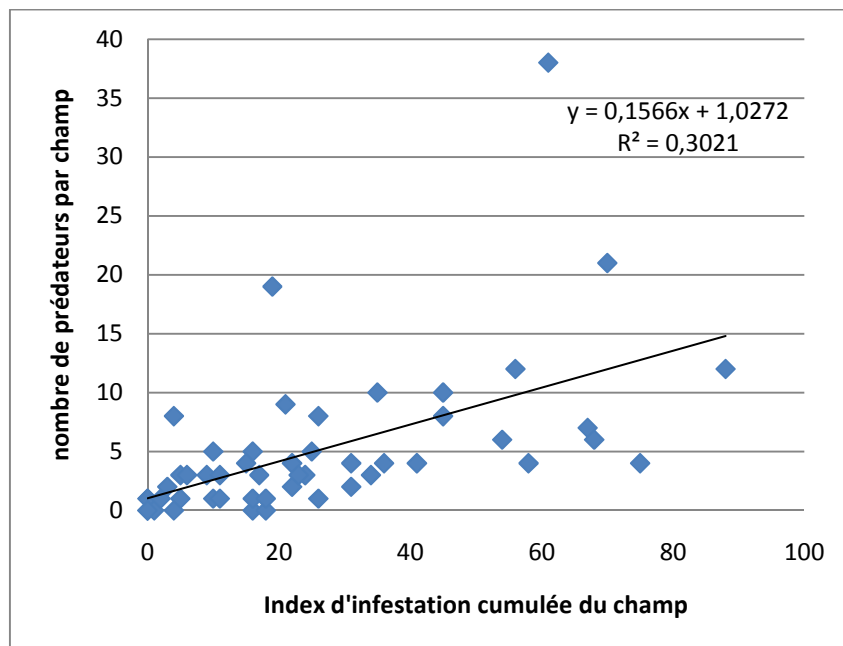


Figure 23. Nombre de prédateurs comptés par champ *versus* index d'infestation cumulée du champ. Un point représente un champ à une date. $R=0,550$. Analyse de covariance : pour un risque $\alpha = 0,05$ avec $n=51$, la valeur r seuil= $0,273$, $r=0,550$ et $r^2=0,302$. Kajulu, Kenya, 2011

L'analyse de covariance montre que les données indiquent un lien statistique entre les variables « nombre de prédateurs » et « Index d'infestation cumulée du champ ». Il y a une corrélation positive: une relation de densité-dépendance existerait. L'analyse de la déviance montre aussi un effet ($p=0$).

Dans son étude menée au Nigeria sur la prédation de *Aphis craccivora* par *Cheilomenes Lunata*, Ofuya (1991a) montre que la population de pucerons augmente même si les prédateurs sont présents. Le déclin de la population de pucerons serait naturel : le niébé mûrit et les plants, en séchant, deviennent défavorables au développement des pucerons. Cependant, il est évident que *C. lunata* exerce une certaine régulation de la pression des pucerons (Ofuya, 1991a).

3.4.7 Présence de prédateurs : variabilité spatiale et temporelle

L'évolution du nombre de prédateurs comptés par champ au cours des 5 semaines de relevés sur le terrain, est montrée dans la Figure 24. De la même manière que pour les pucerons, le comptage des prédateurs est effectué dans les champs suivis hebdomadairement durant les 4 premières semaines, puis dans les champs suivis ponctuellement concernant la 5^e semaine. Le nombre moyen de prédateurs comptés par champ résulte de la somme des observations sur 9 plants.

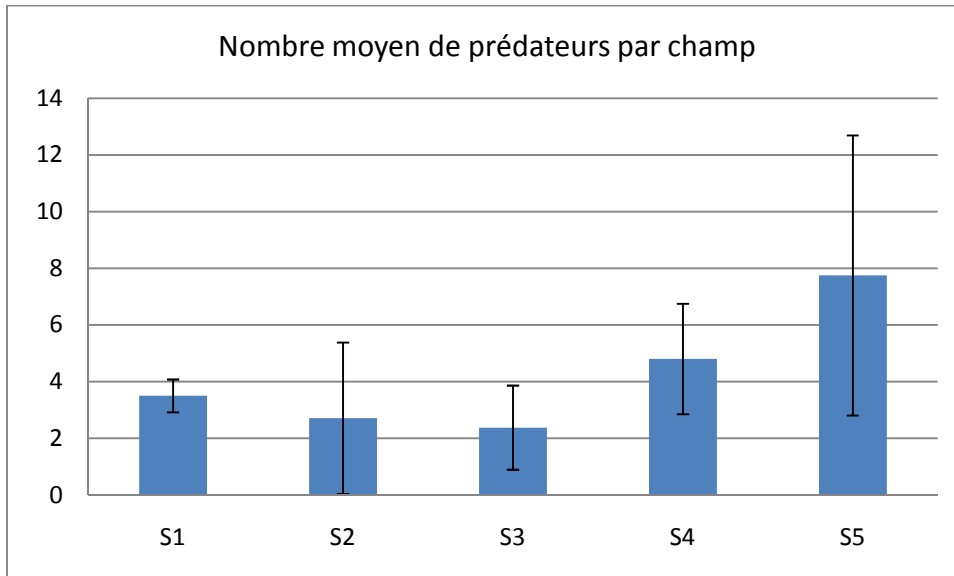


Figure 24. Nombre moyen de prédateurs par champ, moyenne par semaine. Kajulu, Kenya, 2011

La Figure 24 montre une légère diminution du nombre de prédateurs puis une augmentation plus forte : le nombre moyen de prédateurs par champ est presque multiplié par 4 entre la semaine 3 et la semaine 5. Les données de la semaine 1 ne sont récoltées que sur 2 champs, c'est ce qui pourrait expliquer une valeur plus importante que les semaines 2 et 3, dont les données sont récoltées sur les 11 champs suivis hebdomadairement. L'analyse de la déviance montre qu'il y a bien un effet de la semaine sur les prédateurs ($p=0,001$).

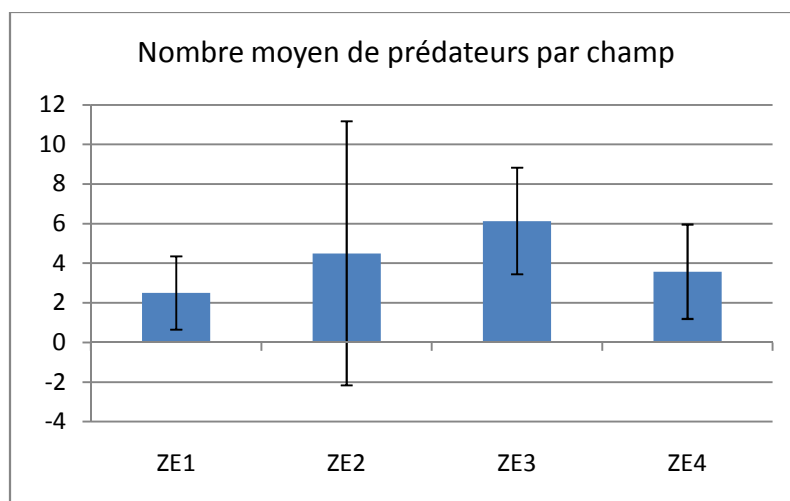


Figure 25. Nombre moyen de prédateurs par champ, moyenne par zone écologique. Kajulu, Kenya, 2011.

La Figure 25 montre la variabilité selon les zones écologiques, du nombre moyen de prédateurs comptés par champ. Les prédateurs ont tendance à être en plus grand nombre dans la sous-zone 3 que dans les sous-zones 1 et 4, l'analyse de déviance montre aussi cet effet ($p=0,01$). La sous-zone écologique 2 est caractérisée par une très forte dispersion des données, il est donc délicat d'interpréter ce résultat.

Lors des relevés, les larves de prédateurs observées étaient distinguées selon trois catégories : les Coccinellidae du genre *Cheilomenes* d'une part, les Coccinellidae des genres *Scymnuset Pullus* d'autre part (en raison de leur très grande ressemblance morphologique, ils

n'ont pas été distingués lors des échantillonnages), et enfin les Syrphidae (voir Photographie 14). Des larves de Chrysopidae et de Chamaemiidae ont aussi été observées occasionnellement, mais en nombre réduit, elles ne figurent donc pas ici. Les Figure 266 et Figure 277 permettent de comparer l'abondance des larves des trois principaux prédateurs observés, dans l'espace (4 sous-zones écologiques) et au cours du temps (5 semaines de relevés).



Photographie 14. Les trois types de prédateurs distingués lors des relevés quantitatifs à Kajulu : de gauche à droite : larve de Coccinellidae du genre *Cheilomenes*, puis trois larves de Coccinellidae des genres *Scymnus* ou *Pullus*, enfin, deux larves de Syrphidae.

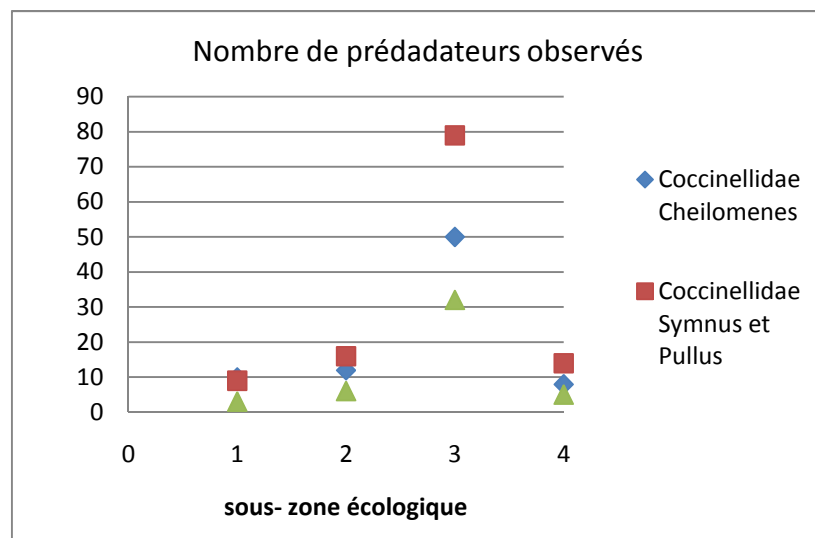


Figure 26. Cumul du nombre de prédateurs Coccinellidae *Cheilomenes* sp. et *Scymnus* sp., et Syrphidae comptés dans les champs, selon les zones écologiques à Kajulu, Kenya, 2011.

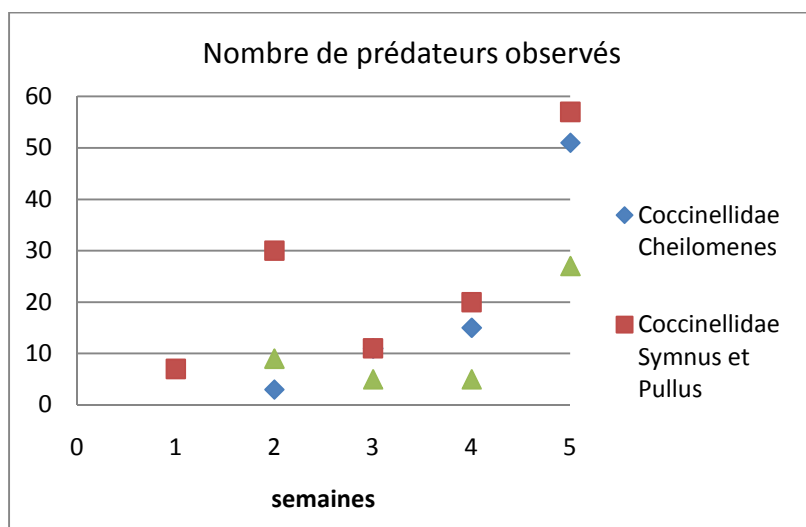


Figure 27. Cumul du nombre de prédateurs Coccinellidae *Cheilomenes* sp. et *Scymnus* sp., et Syrphidae comptés dans les champs, selon les semaines d'observation à Kajulu, Kenya, 2011.

Ces figures montrent que les trois types de prédateurs sont présents dans toutes les sous-zones écologiques et à toutes les semaines, sauf en semaine 1, où seules des larves de coccinelles du genre *Scymnus* et *Pullus* sont observées. Ces dernières sont les prédateurs les plus représentés, et ce dans chaque sous-zone et à chaque semaine. Ceci peut être dû au fait que cette catégorie rassemble deux genres de coccinelles : *Scymnus* et *Pullus*. Ces genres se caractérisent par une petite taille : les larves observées à Kajulu mesurent entre 2 et 3mm environ et s'attaquent donc en particulier aux larves de pucerons des premiers stades, permettant de limiter le développement des colonies (Silvie, 2011, comm. pers.). Cette caractéristique fait des genres *Scymnus* et *Pullus* des prédateurs particulièrement intéressants dans la régulation des pucerons. Dans l'ensemble des sous-zones et sur toute la période d'observation, les larves de coccinelles *Scymnus* et *Pullus* sont les plus abondantes : 48% en moyenne, suivies des larves de *Cheilomenes* (33%), puis des larves de *Syrphes* (19%). La prédation a tendance à être la plus forte d'une part dans la sous-zone écologique 3, et d'autre part au cours de la 5^e semaine. Ces tendances sont similaires pour le niveau d'infestation des pucerons.

Ces figures permettent de montrer l'abondance des coccinelles et syrphes observées à Kajulu. Sur les 9 plants observés par champ le nombre de larves de ces prédateurs pouvait aller jusqu'à 37.

Les échantillons récoltés ont permis une identification plus précise des espèces présentes à Kajulu : ces résultats sont présentés dans la partie 3.5.

3.4.8 Parasitisme de pucerons

Concernant le parasitisme, les données quantitatives sont peu exploitables car elles sont très peu nombreuses : les premiers pucerons parasités ont été observés durant la semaine 4, dans 2 champs suivis hebdomadairement, situés dans les sous-zones écologiques 1 et 3 ; puis durant la semaine 5, dans 3 champs suivis ponctuellement, situés dans les mêmes sous-zones écologiques. En l'absence de relevés durant les deux premières semaines de Juin, il est difficile de comprendre les dynamiques de parasitisme et de mesurer leur impact sur les colonies de pucerons. Néanmoins, la dernière sortie terrain du 15 juin a permis d'observer un

grand nombre de pucerons parasités sur le maïs, notamment dans la sous-zone écologique 1 : voir la Photographie 15.



Photographie 15. Important parasitisme d'une colonie de pucerons sur maïs (9 pucerons visiblement parasités sur cette photo), dans un champ de la sous-zone écologique 1, le 15 Juin à Kajulu, Kenya, 2011

Cette sous-zone écologique est entourée de montagnes, présentant une grande aire d'habitats naturels potentiels pour les parasitoïdes. Ceci montre qu'il y aurait une potentielle régulation des pucerons par les parasitoïdes dans la zone d'étude, bien qu'elle reste à démontrer, concernant en particulier les pucerons du haricot et du niébé.

Les observations de parasitisme sont limitées mais constituent des pistes intéressantes pour de futures études à Kajulu.

3.4.9 Champignons entomopathogènes de pucerons

Les observations sur le terrain ont permis d'identifier des pucerons ayant l'aspect d'un insecte mort de mycose : ailes légèrement écartées, rostre piqué dans la tige du plant. Cependant, le phénomène n'a été observé que sporadiquement, sur des pucerons isolés.

Pour cet ennemi naturel en particulier, nous n'avons donc aucun résultat quantitatif sur son potentiel de régulation naturelle des pucerons.

3.5 Résultats qualitatifs : identifications

Dans cette partie est présentée l'identification des spécimens d'insectes qui ont été collectés sur le terrain d'étude. Cette identification a été réalisée en France, par des spécialistes. Les identifications sont abordées dans l'ordre suivant : les pucerons, puis leurs prédateurs et leurs parasitoïdes, ensuite les parasitoïdes de pucerons, enfin les champignons entomopathogènes.

3.5.1 Identification des pucerons

Les pucerons échantillonnés dans les champs de Kajulu ont été identifiés par les spécialistes (Armelle Cœur d'Acier, Valérie Balmes et Jean-Claude Streito (ANSES)) en France : le Tableau 11 montre les couples pucerons – plante hôte.

Espèce de puceron	plante hôte (famille)
<i>Aphis fabae</i> Scopoli 1763	<i>Phaseolus vulgaris</i>
<i>Aphis craccivora</i> Koch 1854	<i>Vigna unguiculata</i> (Leguminosae) <i>Gliricidia</i> sp. (Leguminosae)
<i>Melanaphis sacchari</i> Zehnter 1897	<i>Sorghum bicolor</i> , <i>Zea mays</i>
<i>Rhopalosiphum padi</i> Linnaeus 1758	<i>Sorghum bicolor</i> , <i>Zea mays</i>

Tableau 11. Pucerons identifiés de la famille des Aphididae, et leur plante hôte, récoltés à Kajulu, Kenya, 2011.

Ces identifications permettent de confirmer les observations relevées dans la littérature : *Aphis fabae* est bien observé sur haricot et *Aphis craccivora* sur niébé, à Kajulu. Ce dernier est aussi observé sur *Gliricidia* sp., une espèce observée dans des haies de Kajulu.

Nos résultats confortent donc ceux de Girma (2000) qui avait étudié au Kenya, dans une région semi aride, l'influence des haies sur les bioagresseurs et leur régulation naturelle dans des cultures associées de maïs-haricot:

- *Aphis fabae* sur *Phaseolus vulgaris*,
- *Rhopalosiphum maidis* sur *Zea mays*,
- *Aphis craccivora* sur *Gliricidia*,

3.5.2 Identification des prédateurs des pucerons

Les différents prédateurs de pucerons observés dans les différentes sous-zones écologiques (ZE) sont nombreux : coccinelles, syrphes, chamaemiides, chrysopes et diptères. Le Tableau 1 montre les espèces de Kajulu, qui ont été identifiées en France par un systématicien (Henri Pierre Aberlenc (CIRAD)).

Famille	espèce	plante hôte
Coccinellidae	<i>Cheilomenes sulphurea</i> (Olivier, 1791)	<i>Phaseolus vulgaris</i> , <i>Sorghum bicolor</i> , <i>Zea mays</i> , dans piège à phéromones de <i>Busseola fusca</i> (Noctuidae)
Coccinellidae	<i>Cheilomenes vicina</i> (Mulsant, 1850)	<i>Zea mays</i> , dans piège à phéromones de <i>Buseola fusca</i>
Coccinellidae	<i>Exochomus</i> sp.	<i>Phaseolus vulgaris</i> , <i>Sorghum bicolor</i>
Coccinellidae	<i>Hippodamia variegata</i> (Goeze, 1777)	<i>Phaseolus vulgaris</i>
Coccinellidae	<i>Platynaspis</i> sp.	bande enherbée bord du champ, <i>Zea mays</i> , <i>Phaseolus vulgaris</i>
Coccinellidae	<i>Pullus</i> sp.	<i>Zea mays</i>
Coccinellidae	<i>Scymnus</i> sp.	<i>Zea mays</i> , bords de champ de <i>Sorghum bicolor</i> , <i>Phaseolus vulgaris</i>
Coccinellidae	rouge à 3 raies noires (non identifiée)	<i>Zea mays</i> , <i>Pennisetum purpureum</i>
Chamaemiidae	Non identifié	<i>Phaseolus vulgaris</i>
Diptera	Non identifié	<i>Phaseolus vulgaris</i> , <i>Zea mays</i>

Tableau 12. Coccinellidae, Chrysopidae et Syrphidae prédateurs de pucerons, capturés, élevés et identifiés, Kajulu, Kenya, 2011

Huit espèces de Coccinellidae prédateurs de pucerons ont été identifiées (cf. Tableau 12).

Une espèce récoltée (coccinelle rouge à 3 raies noires)n'a pas pu être identifiée. Il est possible qu'il s'agisse de *Cheilomenes aurora* (Aberlenc, comm. pers.), mais la prudence nécessaire à l'identification ne permet pas de trancher.

H.P. Aberlenc a bien identifié les genres *Platynaspis* sp., *Scymnus* sp. et *Pullus* sp., mais ne disposant pas de collection de référence pour les espèces d'Afrique de l'Est, il n'a pas pu comparer les *genitalia* nécessaires pour identifier précisément les espèces. En comparant ces résultats avec la bibliographie disponible sur le Kenya, les informations peuvent être recoupées.



Photographie 16. Coccinelles adultes observées à Kajulu, identifiées, de gauche à droite : *Cheilomenes sulphuraea* (Olivier, 1791), *Exochomus* sp. et la coccinelle rouge à trois raies noires non identifiée.

Cheilomenes sulphuraea a été identifiée au Kenya par M. W. Ogenga-Latigo *et al.* en 1993 et 1994, par Kirkpatrick en 1927 (Bigger, 2009), par Girma *et al.* En 2000 et par Ofuya en 1995 sous le nom de *C. lunata*. Ce dernier mentionne cette espèce comme la plus abondante dans son étude au Nigeria.

C. sulphuraea est soit considérée comme une espèce à part, soit comme une variété ou une sous-espèce de *C. lunata* (Aberlenc, 2011, comm. Pers.), il est donc possible que la *C. sulphuraea* identifiée dans mon étude soit la même entité que *C. lunata* signalée dans la littérature par Ogenga-Latigo (1994).

C. vicina a été identifiée au Kenya par Ogenga-Latigo *et al.* en 1993 et 1994, et au Nigeria par Ofuya en 1991b.

Le genre *Exochomus* est signalé au Kenya par de nombreux auteurs. Leurs observations sont rassemblées dans l'ouvrage de Bigger (2009) : *Exochomus flavipes* (Thunberg) par Mugo Omondi & Ndugo en 1997, *Exochomus melanocephalus* (Zoubkoff) par James en 1932, *Exochomus nigromaculatus* (Goeze) par Kirkpatrick en 1927, et *Exochomus ventralis* (Gerstaecker) par Murphy en 1991. Cette dernière espèce est aussi signalée par Girma *et al.* dans son étude (2000).

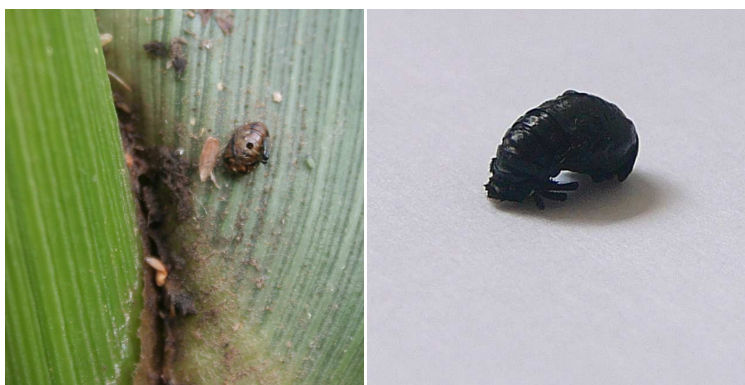
Hipodamia variegata est signalée au Kenya, par Ogenga-Latigo *et al.* en 1993 et 1994, par Mugo Omondi & Ndugo en 1997 (Bigger, 2009), ainsi que par Girma *et al.* (2000).

Platynaspis capicola (Crotch) a été identifiée par Ogenga-Latigo *et al.* (1993, 1994) et par Kirkpatrick en 1927 au Kenya, ce dernier a signalé également *Platynaspis kollari* (Mulsant) (rapporté par Bigger, 2009).

Les espèces *Scymnus trepidulus* (Weise), *S. moreletii* Sic. ont été identifiées par Ogenga-Latigo (1993, 1994) au Kenya ; et *S. guttigera* (Korschefsky) a été observée par Anderson en 1932 (Bigger, 2009).

3.5.3 Identification de parasitoïdes de prédateurs

Les populations de coccinelles et syrphes de la zone sont aussi affectées par le parasitisme. En effet, à partir de la 4^e semaine de relevé, des nymphes de coccinelles parasitées ont été repérées. Elles se caractérisent par une couleur noire au lieu d'être jaune orangée (cf. Photographie 17). Les 16 spécimens de coccinelles parasitées ont été mises en observation et les parasitoïdes obtenus (jusqu'à 22 par nymphe de coccinelle) sont identifiés dans le Tableau 13.



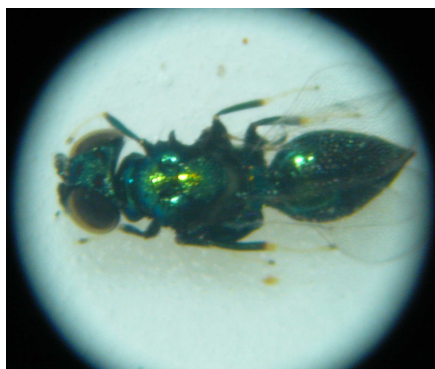
Photographie 17. Nymphes de coccinelles parasitées, caractérisées par leur couleur noire et leur trou d'émergence lorsque les parasitoïdes sont sortis. Kajulu, Kenya, 2011

Ordre	famille	sous famille	espèce	hôte (stade)
Hymenoptera	Eulophidae	Tetrastichinae	<i>Tetrastichus cydoniae</i> (Risbec, 1951)	<i>Cheilomenes</i> sp. (nymphe)
Hymenoptera	Eulophidae	Tetrastichinae	<i>Tetrastichus</i> sp.	<i>Cheilomenes</i> sp. (nymphe)
Hymenoptera	Encyrtidae		<i>Syrphophagus</i> <i>?negrocyanus</i> (Ashmead, 1904)	Syrphidae(nymph e)
Diptera	Phoridae			<i>Cheilomenes</i> sp. (nymphe)

Tableau 13. Hyménoptères et Diptères parasitoïdes de Coccinellidae (*Cheilomense* sp.) et de Syrphidae.

Le parasitoïde *Tetrastichus cydoniae* a été observé par Risbec et par Herting au Cameroun, en Côte d'Ivoire ainsi qu'au Sénégal, sur les espèces hôtes Coccinellidae *Cheilomenes vicina* et *Epilachnia similis* (Natural History Museum, 2011). Peu de données sont disponibles sur les parasitoïdes des prédateurs de pucerons en Afrique de manière générale.

Un spécimen de *Syrphophagus ?negrocyanus* est illustré en Photographie 198.



Photographie 18. Parasitoïde observé au microscope : Hyménoptère de la famille des Encyrtidae : *Syrphophagus ?negrocyanus* (Ashmead, 1904), taille réelle : 1,5mm. Kajulu, Kenya 2011.

L'identification de parasitoïdes de prédateurs met en évidence un 4^e niveau trophique dans notre modèle plante-pucerons-ennemis naturels, qui pourrait être un indicateur de l'abondance des prédateurs.

3.5.4 Identification des parasitoïdes de pucerons

Les relevés montrent que le parasitisme s'exerce dans l'ensemble de la zone. Cette forme de régulation est observée de manière plus importante en fin du cycle de culture du haricot et du niébé, et sur des plants fortement infestés par les pucerons. Cette forme de régulation naturelle serait densité-dépendante. Le Tableau 14 présente les parasitoïdes identifiés.

Famille et sous famille	espèce	puceron hôte ³	plante hôte (famille botanique)
Braconidae Aphidiinae	<i>Aphidius ?colemani</i>	<i>Aphis fabae</i>	<i>Phaseolus vulgaris</i> (Leguminosae)
Braconidae Aphidiinae	<i>Aphidius ?colemani</i>	<i>Melanaphis sacchari</i> ou <i>Rhopalosiphum padi</i>	<i>Zea mays</i> (Poaceae)
Braconidae Aphidiinae	<i>Aphidius ?colemani</i>	<i>Aphis craccivora</i>	<i>Vigna unguiculata</i> (Leguminosae)
Braconidae Aphidiinae	<i>Aphidius ?colemani</i>	<i>Melanaphis sacchari</i> ou <i>Rhopalosiphum padi</i>	<i>Sorghum bicolor</i> (Poaceae)
Braconidae	<i>Diaeretiella ?rapae</i>	<i>Aphis craccivora</i>	<i>Vigna unguiculata</i> (Leguminosae)
Pteromalidae	<i>Pachyneuron ?aphidis</i>	indéterminé	<i>Markhamia lutea</i> (Bignoniaceae)

³ Les pucerons hôtes des ces parasitoïdes n'ont pas été identifiés, leur espèce est déduite à partir des identifications de pucerons plus haut, selon les plantes hôtes.

Pteromalidae	<i>Pachyneuron ?aphidis</i>	<i>Melanaphis sacchari</i> ou <i>Rhopalosiphum padi</i>	<i>Sorghum bicolor</i> (Poaceae)
Figitidae Charipinae	<i>Alloxysta sp.</i>	indéterminé	<i>Markhamia lutea</i> (Bignoniaceae)
Ichneumonidae Diplazontinae	<i>Diplazon laetatorius</i> (Fabricius, 1781)	indéterminé	indéterminé
Encyrtidae	<i>Syrphophagus africanus</i> (Gahan, 1932)	indéterminé	<i>Psidium guajava</i> (Myrtaceae)
Encyrtidae	<i>Syrphophagus africanus</i> (Gahan, 1932)	<i>Melanaphis sacchari</i> ou <i>Rhopalosiphum padi</i>	<i>Sorghum bicolor</i> (Gramineae)
Encyrtidae	<i>Syrphophagus africanus</i> (Gahan, 1932)	<i>Melanaphis sacchari</i> ou <i>Rhopalosiphum padi</i>	<i>Zea mays</i> (Poaceae)

Tableau 14. Parasitoïdes et hyperparasitoïdes obtenus d'élevages de pucerons, leur puceron hôte, et leur plante hôte, à Kajulu, Kenya, 2011.

On constate que les parasitoïdes de pucerons récoltés sont tous des hyménoptères. Six espèces de parasitoïdes ont été identifiées à partir des 18 échantillons de pucerons, ce qui montre une très grande diversité de parasitoïdes. Remaudière (1985) lors de son étude au Burundi avait dénombré 9 espèces différentes sur 80 échantillons de pucerons.

Parmi les espèces identifiées, deux espèces de parasitoïdes appartiennent à la famille des *Braconidae* ; c'est celle qui est la plus représentée: 9/18 échantillons de pucerons parasités récoltés.

On constate que *Syrphophagus africanus*, qui peut être parasitoïde de syrphe, est ici hyperparasitoïde de puceron. Il est illustré en Photographie 19.



Photographie 19. Parasitoïde observé au microscope : Diptère de la famille des Phoridae, taille réelle : 1mm.

Dans son étude sur les hyperparasitoïdes, Sullivan (1987) décrit l'espèce *Pachyneuron concolor* comme hyperparasitoïde facultatif de puceron. Dans notre étude, nous avons identifié *Pachyneuron ?aphidis*.

Dans son étude, Girma *et al.* (2000) a observé au Kenya des espèces parasitoïdes de la famille des Ichneumonidae, mais le genre n'est pas identifié ; à Kajulu, c'est *Diplazon laetatorius* qui a été observé.

Dans notre étude, *Diaeretiella ?rapae* serait parasitoïde du puceron *Aphis craccivora*. J. Bahana *et al.* (1986), étudient le parasitoïde *Diaeretiella rapae* sur le puceron *Brevicoryne brassicae* Linneus, au Kenya. Ce parasitoïde a été aussi observé au Burundi par Remaudière *et al.* (1985), mais sur aucun des pucerons hôtes identifiés dans notre étude.

Aphidius colemani est un parasite très polyphage et à large répartition dans le monde. Il est qualifié dans l'étude de Remaudière *et al.* (1985) comme l'une des espèces les plus abondantes. Ce parasitoïde peut constituer de grandes populations à Kajulu, se développant grâce une diversité de pucerons étendues sur l'ensemble des cultures vivrières (sur maïs, sorgho, haricot et niébé), il peut constituer un élément intéressant pour la régulation naturelle des pucerons. Il est identifié au Burundi sur de nombreux pucerons hôtes notamment trois que nous avons identifiés dans notre étude : *Aphis fabae*, *Melanaphis sacchari* et *Rhopalosiphum padi*. Cependant, Remaudière *et al.* ne l'ont pas observé sur *Aphis craccivora*, comme dans cette étude.

3.5.5 Identification des entomopathogènes

Des pucerons ayant l'aspect d'un insecte mort de mycose (ailes légèrement écartées, rostre piqué dans la plante) ont été observés sur le terrain et récoltés. De retour au laboratoire à Kisumu, ils ont aussitôt été mis en observation selon la méthodologie de l'Institut Pasteur, pour permettre l'émission de conidiophores puis la projection de conidies, ou douche sporale, nécessaires à l'identification de l'agent pathogène.

Aucune apparition de structures fongiques caractéristiques des Entomophthorales n'a été constatée. À l'inverse, ce sont des moisissures de type saprophytes qui se sont développées sur les cadavres, probablement en raison de l'humidité élevée d'une part, et de la mort non récente des spécimens observés d'autre part. La sporulation du pathogène d'origine avait déjà du avoir lieu. Cependant, le cadavre a été conservé dans l'alcool et observé ultérieurement à la loupe binoculaire par un spécialiste en France : Bernard Papierok (Institut Pasteur). Le spécimen portait les signes d'une infection par l'Entomophthorale *Pandora neoaphidis*.

D'autres spécimens de la famille des Braconidae, ayant l'aspect d'insectes morts de mycoses, ont aussi été récoltés (Photographie 20). Leur observation par B. Papierok en France montre qu'ils auraient été tués par une Entomophthorale du genre *Batkoa* ou du genre *Conidiobolus*.



Photographie 20. Hyménoptère de la famille des Braconidae présentant l'aspect d'un insecte mort de mycose. Kajulu, Kenya 2011.

Des champignons entomopathogènes de l'ordre des Entomophthorales avaient déjà été observés au Kenya, dans la forêt de Kakaméga, qui se trouve à une trentaine de kilomètres de Kajulu (Papierok, 2011, comm. pers.). Nos nouvelles observations confirment donc la présence de cet ordre d'entomopathogènes, dans cette région du Kenya.

L'identification d'Entomophthorales sur des parasitoïdes de pucerons révèle l'impact des champignons entomopathogènes à un niveau supplémentaire, augmentant le degré de complexité des relations trophiques.

3.5.6 Diversité du complexe de régulation naturelle des pucerons, dans l'espace

Le Tableau 15 montre la sous-zone écologique dans laquelle ont été prélevées les espèces identifiées. Une absence de croix ne signifie donc pas une absence d'espèce, celle-ci ayant pu être observée mais non récoltée. Cependant, concernant les parasitoïdes de pucerons, ils n'ont été observés que dans les sous-zones écologiques 1 et 3. Ce tableau peut constituer une base qui pourra être enrichie par des études postérieures.

		ZE1	ZE2	ZE3	ZE4
Prédateurs de pucerons	<i>Cheilomenes sulphuraea</i>	+	+	+	+
	<i>Cheilomenes vicina</i>	+	+		
	<i>Exochomus</i> sp.			+	+
	<i>Hippodamia variegata</i>			+	
	<i>Platynaspis</i> sp.	+	+		
	<i>Pullus</i> sp.			+	
	<i>Scymnus</i> sp.	+	+	+	
	Syrphidae	+	+	+	+
	Chrysopidae			+	
	Chamaemiidae		+		
Diptera	+				
Parasitoïdes de pucerons	<i>Aphidius ?colemani</i>	+		+	
	<i>Diaretiella ?rapae</i>			+	
	<i>Pachyneuron ?aphidis</i>	+			
	<i>Alloxysta</i> sp.			+	
	<i>Diplazon laetatorius</i>	+			
	<i>Syrphophagus africanus</i>	+		+	
Parasitoïdes de prédateurs	<i>Tetrastichus cydoniae</i>	+	+	+	+
	<i>Tetrastichus</i> sp.	+			
	<i>Syrphophagus ?negrocyanus</i>	+			
	Phoridae	+			

Tableau 15. Espèces identifiées, du complexe de régulation naturelle des pucerons, dans les zones écologiques où elles ont été prélevées.

Les résultats produits dans cette étude et les tendances dégagées sont mises en perspective avec la littérature dans la partie suivante.

4 Discussion

4.1 Confrontation de nos résultats aux données de la littérature

Cette étude, à visée exploratoire, a été conduite en menant parallèlement des observations sur la régulation naturelle des pucerons des légumineuses (haricot et niébé) et sur la perception des agriculteurs de cette régulation.

Dix espèces de prédateurs ont été identifiées, appartenant aux groupes des coccinelles, des diptères de la famille des syrphes et des Chamaemiidae, ainsi que des chrysopes. Six espèces de parasitoïdes de pucerons et quatre espèces de parasitoïdes de prédateurs ont été mises en évidence. La présence de ces derniers suggère que les prédateurs, leur source de nourriture, sont abondants. Des champignons entomopathogènes ont été identifiés sur les pucerons mais aussi sur des parasitoïdes de pucerons. La régulation naturelle s'exprime ainsi à plusieurs niveaux : celui des ravageurs et celui de leurs prédateurs.

Nos résultats ont montré qu'en absence de protection chimique, la diversité végétale et la complexité structurale du terrain d'étude permettent effectivement une bonne régulation naturelle des pucerons. Nos observations confortent les thèses de Southwood *et al.* (1970) qui signalent que dans les écosystèmes, une certaine stabilité découle de la diversité.

Les études de Roschewitz *et al.* (2005) et Thies *et al.* (2005), qui portaient sur des champs en monocultures en Europe, ont montré que les effets de la biodiversité et de la complexité du paysage permettent bien d'augmenter le taux de parasitisme mais que le taux d'infestation par les pucerons augmente également.

Contrairement aux régions de monoculture, la zone d'étude de Kajulu présente un paysage complexe : importante pression démographique, milieux composés de différents écosystèmes autour de la zone étudiée (montagnes, grande jachère pâturée, plaine sucrière), et au sein de cette zone (champs vivriers, monocultures de canne à sucre). Cela nous permis de distinguer des « sous-zones » écologiques, au sein desquelles les champs et les éléments semi-naturels forment une mosaïque complexe. Il existe une importante diversité végétale entre les champs avec différentes cultures vivrières ou jachères, selon les saisons des pluies. Dans le contexte de Kajulu, les dégâts dus aux pucerons resteraient à un niveau faible.

Ceci peut être expliqué par des raisons variées :

- d'une part, l'association culturelle complexifie le système à l'échelle du paysage et à l'échelle du champ, et peut réduire la détection de la culture par les pucerons (forme de barrière physique et visuelle faite par le maïs ou le sorgho) (Tingey *et al.*, 1988)
- d'autre part, un phénomène efficace de régulation naturelle : de nombreux prédateurs et parasitoïdes sont mis en évidence à Kajulu, ce qui peut être lié à la fragmentation du paysage (Barret *et al.*, 2000), à l'hétérogénéité d'habitats naturels pérennes (Tscharntke *et al.*, 2007 ; Rusch *et al.*, 2010 ; Brewer *et al.*, 2008), à la petite taille des champs (Ekbom *et al.*, 2003) et à la diversité végétale dans le champ (Elliot *et al.*, 1998 ; Andow, 1991).

Au cours du stage, nous avons étudié l'influence de la composition et de la structure du paysage sur l'abondance et la diversité des bioagresseurs:

- à l'échelle des sous-zones écologiques (indicateurs : type de culture, densité d'espaces semi naturels, densité d'habitants et longueur des haies /ha)
- à l'échelle du champ (indicateurs : haies : présence et composition botanique ; champ : taille, association culturelle et espèces observées).

Les observations ont été réalisées dans l'espace et dans le temps, au cours de la grande saison des pluies de l'année 2011.

L'analyse spatiale, à l'échelle des sous-zones écologiques que nous avons définies confirme les données de la littérature : la sous-zone écologique 3, caractérisée notamment par une plus grande densité en éléments semi-naturels, présente de plus fortes infestations mais aussi une plus grande abondance de prédateurs.

L'analyse temporelle comparant les données au cours de cinq semaines durant la longue saison des pluies, montre que le niveau d'infestation ainsi que l'abondance des prédateurs augmentent au cours du cycle de culture de la plante hôte.

Selon nos données, le niveau d'infestation et l'abondance des prédateurs sont corrélés, ce qui suggère une relation de densité-dépendance. Cette relation a été mise en évidence par Ofuya au Nigeria, dans une étude portant sur la régulation naturelle de *Aphis craccivora* par des coccinelles (Ofuya, 1995). Nos résultats montrent une réponse numérique des prédateurs, c'est-à-dire plus de prédateurs pour plus de pucerons (Southwood *et al.*, 1970). Une réponse fonctionnelle pourrait aussi avoir lieu pour certains prédateurs identifiés à Kajulu : face à un plus grand nombre de pucerons, chaque individu prédateur tue plus de proies. Ofuya a mis en évidence lors d'études en laboratoire cette capacité des espèces *Cheilomenes sulfurata* (Ofuya, 1988) et *C. vicina* (Ofuya, 1986) à adopter cette réponse fonctionnelle.

Les haies, élément semi-naturels pérennes, sont décrites par de nombreux auteurs comme jouant un rôle important pour la régulation naturelle (entre autre Barret *et al.*, 2000 ; Baurdy *et al.*, 2000 ; Joannon *et al.*, 2008 ; Rusch *et al.*, 2010) ainsi que pour les ravageurs (Thies *et al.*, 2005 ; Roschewitz *et al.*, 2005). Nos résultats pourraient remettre en question l'hypothèse selon laquelle les haies sont des refuges pour les pucerons et leurs ennemis naturels. En effet, l'abondance des pucerons et des ennemis naturels est apparue plus élevée dans les champs qui ne sont pas entourés de haies.

Cependant, nos observations suggèrent aussi que la dynamique des populations de pucerons diffère selon les sous-zones écologiques considérées. C'est dans la sous-zone caractérisée par le réseau de haies le plus dense (sous-zone n° 3), que l'abondance des pucerons est la plus forte en début de saison culturale. Ceux-ci pourraient donc provenir de tels refuges, et migrer par la suite vers les autres sites (notamment la sous-zone 4). Ainsi, il serait intéressant de réaliser des observations complémentaires des espèces de pucerons dans les haies durant la saison sèche.

A l'échelle du champ, un effet de bordure est souvent caractérisé par de plus fortes densités de phytophages et de prédateurs sur la bordure (Altieri, 1999 ; Rusch *et al.*, 2010). La taille réduite des champs étudiés dans notre cas, limite la portée de cette observation. Toutefois, une tendance à l'effet de bordure se dégage de nos analyses, concernant les pucerons ainsi que les prédateurs.

Au travers des enquêtes et des réunions avec les agriculteurs de Kajulu, nous avons approché leur perception de la régulation naturelle des ravageurs, notamment des pucerons. Nous avons aussi voulu comprendre comment ils choisissent de diversifier leurs cultures et de mettre en place des éléments semi-naturels. Ces choix s'effectuent en réponse à différentes logiques et contraintes :

- logiques économiques pour ceux qui vendent une partie de leur production (choix entre planter de la canne à sucre et planter du maïs, selon les fluctuations des prix liés marché international ou national),
- logiques vivrières (choix des cultures en fonction des habitudes alimentaires),
- logiques transmises par la tradition (plantation de haies), les flux d'informations ou de nouvelles pratiques (provenant d'organismes extérieurs ou de la mobilité des femmes),
- contraintes climatiques (petites et grandes saisons des pluies, diminution globale des pluies ces dernières années),
- contraintes du foncier (espace réduit, insécurité foncière pour certains).

Les choix des agriculteurs concernant leur manière d'agencer et de valoriser leurs parcelles et donc de modeler leur paysage, sont effectués avec des rationalités qui leur sont propres, résultant de compromis entre ces différentes logiques et contraintes. Lors de la dernière réunion, les agriculteurs étaient en attente de conseils agronomiques. Cependant, la complexité des logiques socio-écologiques à l'œuvre dans la zone d'étude, ne permet pas, à ce stade, de formuler de recommandations opérationnelles. En réponse à leurs attentes, nous les avons donc sensibilisés au sujet de la biodiversité, exceptionnelle dans leur zone, ainsi qu'aux services écosystémiques qu'elle procure, notamment en matière de régulation naturelle et nous les avons incités à entretenir cette richesse.

Cette première approche exploratoire a des limites mais permet de dégager des axes de recherche complémentaires et des propositions de méthodologies pour aborder la complexité.

4.2 Perspectives

Nos observations ont été limitées par le temps imparti, contrainte inhérente au contexte du stage. En outre, des complications liées aux habitudes de corruption d'un responsable de district ont réduit la période d'observation sur le terrain. En effet, durant les deux premières semaines de Juin, nous avons fait face à l'interdiction de nous rendre à Kajulu, problème que nous avons fini par résoudre afin d'organiser la réunion de restitution aux agriculteurs.

Dans le but d'étudier les dynamiques des pucerons et de leurs ennemis naturels, il est important de poursuivre les observations durant les saisons sèches ainsi que les saisons des pluies, durant plusieurs années consécutives.

Concernant notre étude, la comparaison stricte des champs avec ou sans haies, inspirée de la littérature, n'est finalement pas adaptée à la structure complexe des éléments semi naturels à Kajulu. En effet, les haies ne longent généralement pas les quatre côtés du champ, la composition botanique et la hauteur au sein d'une même haie peuvent être très inégales. Il serait approprié de développer une méthodologie adaptée à cette complexité.

A l'échelle du champ, de nombreux paramètres sont susceptibles d'exercer une influence sur l'infestation des pucerons et sur leur régulation naturelle. Dans le cadre d'études complémentaires, il serait intéressant de tester les paramètres suivants, à partir des différentes situations qui se présentent à Kajulu :

- l'effet de l'état des plants de haricot : stade phénologique, état sanitaire : plants malades, plants vigoureux : en lien avec la fertilité du sol.
- l'effet des variétés de haricots, très nombreuses à Kajulu : celles-ci peuvent être plus ou moins résistantes (Altieri *et al.*, 1977 ; Ofuya, 1995), causant la mort des pucerons et autres insectes phytophages par des moyens biophysiques ou biochimiques (Southwood *et al.*, 1970).
- l'effet de la culture associée (maïs ou sorgho) comme barrière à l'accessibilité des plants de haricot pour les pucerons : hauteur du maïs en association, densité de semis. Les conclusions de Ogenga-Latigo (1992a) dans son étude au Kenya montrent que lorsque le maïs est densément planté, peu de pucerons pénètrent dans la canopée pour infester les haricots. Altieri *et al.* (1977) et Ogenga-Latigo *et al.* (1993) ont travaillé sur les décalages des dates de semis entre maïs et haricot : il semblerait que l'infestation soit minimum lorsque le maïs est planté 20 jours avant le haricot.
- l'influence du couvert végétal d'adventices dans le champ : dans un champ désherbé, la détection visuelle des plants de haricot par les pucerons est facilitée par le contraste entre la couleur verte des plants et le sol marron (Andow, 1991). Il y aurait donc moins d'infestation dans les champs qui ne sont pas désherbés. Les adventices peuvent aussi jouer le rôle de refuges pour les prédateurs : fournissant des micro-habitats et servant de source de nourriture alternative : pollen et nectar (Altieri *et al.*, 1979). Ofuya (1989) montre dans son étude que la prédation des pucerons du niébé par syrphes et coccinelles, est plus forte lorsque les adventices sont laissées dans le champ

Face au faible nombre de références bibliographiques sur les pucerons et leurs ennemis naturels pour le Kenya mais aussi pour l'Afrique de l'Est, ainsi qu'à l'absence de collections entomologiques de référence pour l'Afrique de l'Est au CBGP, l'identification de certains spécimens de parasitoïdes et même parfois de coccinelles reste difficile.

Une solution consisterait à mener des recherches complémentaires en utilisant des méthodes de biologie moléculaire pour identifier les espèces auxquelles appartiennent les spécimens, et de possibles écotypes différents. Ceci permettrait d'effectuer un inventaire complet des couples pucerons - plantes hôtes, base nécessaire à de futurs programmes de lutte intégrée. Au Kenya, un projet international est développé par des chercheurs de l'ICRPE, pour combler cette absence de données de base sur les ravageurs majeurs que constituent les pucerons pour les cultures vivrières, et pour constituer un inventaire et une caractérisation de leurs ennemis naturels. Ce projet a pour but de formuler, à l'égard des agriculteurs kenyans, des axes de proposition pour la protection des cultures, basés sur l'écologie et la biologie des ravageurs (Ekesi, 2011, comm. pers.)

Notre étude exploratoire a permis d'analyser la zone d'étude avec une approche spatiale et de distinguer différents niveaux d'organisation du paysage : des sous-zones écologiques, et des interfaces avec d'autres écosystèmes. Sur la base de cette analyse, d'autres études complémentaires seront envisagées dans le cadre du déploiement des activités du CIRAD en Afrique de l'Est. Il serait intéressant de poursuivre les observations entomologiques au niveau local, dans les différentes sous-zones écologiques, mais aussi d'étendre les observations aux espaces semi naturels alentours : aires de sylviculture en piémont, jachère pâturée et montagnes. Ceci dans le but de comprendre s'ils jouent le rôle d'habitat pour les ennemis naturels des pucerons. Dans son étude, Kruess (2003) montre l'importance d'étudier le paysage à une échelle plus large qu'à l'échelle locale car les espaces naturels ou semi naturels alentour (dans un rayon de 250m à 1km) auraient une influence sur les populations de parasitoïdes de phytophages.

Un travail complémentaire à cette étude consisterait alors à effectuer une caractérisation très fine du paysage étudié, à l'aide d'outils cartographiques tel que le système d'information géographique, utilisé dans les travaux récents étudiant la régulation naturelle avec une approche spatiale (Baveco *et al.*, 2008 ; Brewer *et al.*, 2008 ; Ricci *et al.*, 2009). Cet outil est nécessaire pour appréhender avec précision le morcellement fin du paysage et des parcelles cultivées, résultant d'une forte anthropisation de la zone d'étude. Ces informations, en lien avec les pratiques agricoles, permettraient de comprendre les dynamiques spatiales des populations de ravageurs et de leurs ennemis naturels.

L'écologie du paysage est un champ d'étude intégratif, relativement nouveau, et des auteurs tels Barret *et al.* (2000) et Rusch *et al.* (2010) démontrent l'intérêt de lier l'écologie du paysage à l'agronomie, pour comprendre les interactions trophiques et maximiser la régulation naturelle des ravageurs, dans le but de limiter les applications des pesticides. C'est dans cette perspective que nous avons situé notre étude, mais dans un contexte nouveau qui n'est pas souvent évoqué par les auteurs : une zone agricole fortement anthropisée, avec une mosaïque fine du paysage et des éléments semi naturels, permettant de maintenir le service écosystémique de la régulation naturelle par l'abondance et la diversité des ennemis naturels.

Maintenir cette biodiversité est essentielle : face aux scénarii de changements climatiques prévus par le GIEC une grande diversité de populations d'ennemis naturels pourrait être nécessaire afin de maintenir les services écosystémiques de régulation naturelle (Tschardtke *et al.*, 2007). Ainsi, si un ennemi naturel a besoin de temps pour construire sa propre population, d'autres ennemis naturels peuvent alors fournir des complémentarités temporelles de régulation pour prévenir des pics de populations de ravageurs (Bianchi *et al.*, 2006). Cette biodiversité est fonctionnelle non seulement pour la régulation naturelle, mais aussi pour d'autres services écosystémiques. La maintenir est donc primordial pour conserver un équilibre écologique et économique durable.

Bibliographie :

- Allen D. J.** 1995. An annotated list of diseases, pathogens and associated fungi of the common vean *Phaseolus vulgaris* in Eastern Africa. *Pytopathological papers*, **34**, 1-41.
- Altieri M. A.** 2002. Agroecology: the science of natural resource management for poor farmers in marginal environments. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **93**: 1-24.
- Altieri M.A.** 1999. The ecological role of biodiversity in Agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **74**: 19-31.
- Altieri M. A., Letourneau D. K.** 1982. Vegetation management and biological control in agroecosystems. *Crop protection*, **1**(4): 405-430
- Altieri M. A., Whitcomb W. H.** 1979. The potential use of weeds in the manipulation of beneficial insects. *HortScience*, **14**(1): 12-18.
- Altieri M. A., Francis C. A., Van Schoonhoven A., Doll J. D.** 1978. A review of insect prevalence in maize (*Zea Mays* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.) polycultural systems. *Field Crop research*, **1**: 33-49.
- Amako A., Omolo E. O., Kidega E. K.** 1983. Influence of maize, cowpea and sorghum intercropping systems on stem-/pod-borer infestations. *Insect Science Application*, **4**, ½, 47-57.
- Andow D. A.** 1991. Vegetational diversity and arthropod population response. *Annual review of entomology*, **36**: 561-586.
- Anyuma G.** 1995. Kisumu Town: history of the built form, planning and environment; 1890-1990. [On-line]. Delft: Delt University of Techology, 373pp. Thèse (Dr en Histoire) [1995/04/24]. <URL: http://repository.tudelft.nl/assets/uuid:95857dc0-c835-4677-8a5a-79fd8bcc7b46/otb_anyumba_19950424.PDF>.
- Bahana J., Karuhize G.** 1986. The role of *Diaeretiella rapae* (M'c Intosh) (Hymenoptera : Braconidae) in the population control of the cabbage aphid, *Brevicoryne brassicae* L. (Hemiptera : Aphididae) in Kenya. *Insect Science Application*. **7**, 5, 605-609.
- Barret G. W.** 2000. The impact of corridors on arthropod populations within simulated agrolandsapes. In : Ekbohm B., Irwin M. Roberts Y. *Interchanges of insects*. Netherland : Kluwer Academic Publishers, 71-84.
- Baudry J., Bunce R. G. H., Burel F.** 2000. Hedgerows : an international perspective on their origin, function and management. *Journal of Environmental Management*, **60**, 7-22.
- Baveco J. M., Bianchi F. J. J. A., Van Der Werf W., Goedhart P. W.** 2008. Mapping the ecosystem service of pest control associated with forest in agricultural landscapes ; a proof of concept. *Landscape management for functional biodiversity, OIBC*, **34**: 21-23.
- Berland.** 1951. The female aphidiid *Lysiphlebus testaceipes* Cress. lays an egg in an aphid. In : Malyshev S. I., *Genesis of the hymenoptera and the phases of their evolution* [On-line]. Suffolk: Richards and Uvarov, 324p. [12/09/20011]. <URL: <http://books.google.fr/books?id=pT4OAAAAQAAJ&pg=PA104&dq=Lysiphlebus+te>

staceipes+berland+1951&hl=fr&ei=XSduTsjQIMfE4gTQ9b3OBA&sa=X&oi=book_r
esult&ct=result&resnum=1&ved=0CC0Q6AEwAA>.

- Bianchi F. J. J. A., Booij C. J. H., Tscharrntke T.** 2006. Sustainable pest regulation in agricultural landscapes : a review on landscape composition, biodiversity and natural pest control. *Proceedings of the Royal Society B Biological Sciences*. **273**: 1715-1727.
- Bigger M.** 2009. A geographical distribution list of insects and mites associated with coffee, derived from literature published before 2010, 397p.
- Bordat D., Daly P.**1995. Catalogue des principaux arthropodes présents sur les cultures légumières de Nouvelles Calédonie. Nouméa : CIRAD-FLOHR, 125p.
- Bourgeade A., Kamenova S., Guyot V., Hassan D., Bretagnolle V., Gauffre B., Parisey N., Baudry J., Marrec R., Hidalgo K., Vialatte A., Plantegenest M.** 2010. Influence du paysage sur la colonisation et la dynamique de population de pucerons en parcelles et sur le contrôle biologique, *in* : Session 9 : L'écologie du paysage : une discipline scientifique entre processus écologiques et processus décisionnels. *Ecologie 2010* : p50.
- Butani P. G., Bharodia R. K.** 1984. Relation of Groundnut Aphid Population with Its Natural Predators, Lady Bird Beetles. *Gujarat Agricultural University Research Journal*, **9**(2): 72-74.
- Brewer M. J., Noma T., Elliott N. C.** 2008. A landscape perspective in managing vegetation for beneficial plant-pest-natural enemy interactions : a foundation for areawide pest management. In : *Areawide Pest Management : Theory and Implementation*, Koul O., Cuperus G., Elliott N. eds. : 81-89.
- Carte du monde, Kenya**, <URL : <http://www.carte-du-monde.net/11-kenya.html>>
- Clayton A., Savage D. C.** 1974. Government and labour in Kenya 1895-1963. [On-line] Oxon : F. Cass and Company Ltd. 485p. [21/08/11] <URL: <http://books.google.fr/books?id=4szhDBSZehUC&printsec=frontcover>>
- Conelly W. T., Chaiken M. S.** 2000. Intensive farming, Agro-Diversity, and Food Security Under Conditions of Extreme Population Pressure in Western Kenya. *Human Ecology*, **28**: p. 19-51
- Dilley M. R.** 1966. British policy in Kenya Colony. [On-line] London: Franck Cass and Co Ltd. 300p. [21/08/11]. <URL: http://books.google.fr/books?id=15XSWUVEhDMC&printsec=frontcover&dq=inauthor:%22Marjorie+Ruth+Dilley%22&hl=fr&ei=EcxQTtWBF-jd4QSolKCsBw&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=1&ved=0CCsQ6AEwAA>
- Do N.** 1996. Trees and Forestry. *Review of Agricultural Research*, **28**: 85p.
- Ekbom B.** 2003. The influence of landscape and farm management on biological control by generalist predators. *Landscape management for functional biodiversity*, *OIBC*, **26**(4): 43-46.
- Elliot N., Kieckhefer R. W., Lee J. H., French B. W.** 1998. Influence of within-field and landscape factors on aphid predator populations in wheat. *Landscape Ecology*, **14**: 239-252.

- FAO.** 2011. *Gliricidia sepium, Gliricidia maculata*. Système d'information des ressources en alimentation animale.[On-line]. [2011/08/18]<URL: <http://www.fao.org/ag/AGA/AGAP/FRG/afri/fr/Data/543.HTM>>.
- Girma H., Rao M. R., Sithanatham S.** 2000. Insect pests and beneficial arthropod populations under different hedgerow intercropping systems in semiarid Kenya. *Agroforestry Systems*, **50**: 279-292.
- Greathead D. J.** 2003. Historical overview of biological control in Africa. In : Neuenschwander P., Borgemeister C., Langewald J., *Biological control in IPM systems in Africa*. [On-line]. Oxon: CAB International Publishing, p.1-26. [06/09/2011]. <URL: http://books.google.fr/books?id=OWjhAymCwC&pg=PA12&lpg=PA12&dq=Lysiphlebus+testaceipes+success+of+introduction++Kenya&source=bl&ots=cUGd1s-DiI&sig=crqBpx9GDyX63UekYiR2_5bcOFU&hl=fr&ei=FMRITvb6BJPE4gS-lfmpCg&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=1&ved=0CCkQ6AEwAA>.
- Hagen K. S., Van Der Bosch R.** 1968. Impacts of pathogens, parasites, and predators on aphids. *Annual Review of Entomology*, **13**: 325-384.
- Harignordoquy M.** 2011. Les déterminants de l'hétérogénéité spatiale et temporelle de la pression des foreurs de tige sur maïs dans une région agricole du Kenya. Paris : Mémoire de fin d'études pour le diplôme du Master Sciences et Technologies du Vivant et de l'Environnement. Agro Paris Tech. 20p.
- Harre D., Moriconi-Ebrard F., Gazel H.** 2010. Fiche pays République du Kenya. In *AfricaPolis, II L'urbanisation en Afrique Centrale et Orientale*. [On-line]. Paris : AFD, 62p. [22/08/11] <URL : http://www.google.fr/url?sa=t&source=web&cd=9&ved=0CGMQFjAI&url=http%3A%2F%2Fgeopolis.eu%2FIMG%2Fpdf%2FAFRICAPOLISII_FICHES_PAYS%2FFICHE%2520PAYS%2520KENYA.pdf&rct=j&q=croissance%20d%C3%A9mographique%20Kisumu&ei=MANSTsvoJKr64QSi6msBw&usg=AFQjCNFt8NWZXXrJQyvX8odmBtjS_Yir5w&cad=rja>
- Hodek I., Chakrabarti S., Rejmanek M.** 1984. The effect of prey density on food intake by adult *Cheilomenes sulfurea* (Col.: Coccinellidae). *Entomophaga*, **29**(2)/ 179-164
- Holland J., Oaten H., Moreby S., Southway S.** 2008. The impacts of agri-environmental schemes on cereal aphid control. *Landscape management for functional biodiversity, OIBC*, **34**: 33-36.
- Jean-Baptiste S.** 2010. Diagnostic agraire d'une petite région agricole du District Est de Kisumu, Kenya. Paris : mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'ingénieur agronome. Agro Paris Tech. 76p.
- Joannon A., Vialatte A., Vasseur C., Baudry J., Thenail C.** 2008. Combining studies on crop mosaic dynamic and pest population dynamics to foster biological control. *Landscape management for functional biodiversity, OIBC*, **34**: 45-48.
- Katwijukye A. K., Kyamanywa S.** 1997. Assessment of yield loss due to *Aphis fabae* (Homoptera : Aphididae) on common beans in Uganda. *African Crop Science Conference Proceedings*, **3**: 1133-1138.

- Kruess A.** 2008. Effects of landscape structure and habitat type on a plant-herbivore-parasitoid community. *Ecography*, **26**: 283-290.
- Landis D. A., Wratten S. D., Gurr G. M.** 2005. Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture. *Annual Review of Entomology*, **45**: 175-2001
- Latgé J.P., Papierok B.** 1988. Aphid pathogens. In : A.K. Minks, P. Harrewijn, eds, *Aphids : their biology, natural enemies and control*. Amsterdam : Elsevier, 323-335.
- Lavorel S., Sarthou J.P. et al.** 2008. Chapitre 2. Intérêts de la biodiversité pour les services rendus par les écosystèmes, *in* : ESCo « Agriculture et Biodiversité », 223p.
- Meier U.** 2001. Stades phénologiques de mono et dicotylédones cultivées, BBCH Monographie, Centre Fédéral de Recherches Biologiques pour l'Agriculture et les Forêts, 166p.
- Muga R. O.** 2005. Kisumu District strategies plan 2005-2010 for Implementation of the National Population Policy for Sustainable Development [On-line] (National Coordination Agency for Population and Development, Ministry of planning and National Development). Ed. HSK Consulting Ltd. 57p. [22/08/11] <URL: http://www.google.fr/url?sa=t&source=web&cd=8&ved=0CGAQFjAH&url=http%3A%2F%2Fwww.ncapd-ke.org%2FUserFiles%2FFile%2FDistrict%2520Strategic%2520Plans%2FKisumu%2520FINAL%2520Modified.pdf&rct=j&q=demography%20Kisumu&ei=qP1RTuu8MMSD4gT42rnCAQ&usg=AFQjCNG1S2jSULpbBNDL-_g5BIL9A8pNYA&cad=rja>
- Nabirye J., Nampala P., Ogenga-Latigo M. W., Kyamanywa S., Wilson H., Odeke V., Iceduna C., Adipala E.** 2003. Farmer-participatory evaluation of cowpea integrated pest management (IPM) technologies in Eastern Uganda. *Crop Protection*, **22**: 31-38
- Natural History Museum.** 2011. Universal Chalcidoidea Database [On-line] [10/09/2011] URL<<http://www.nhm.ac.uk/research-curation/research/projects/chalcidoids/database/detail.dsml?FamilyCode=HT&VALAUTHOR=Risbec&VALGENUS=Tetrastichus&HOMCODE=0&VALDATE=1951&VALSPECIES=cydoniae&ValidAuthBracket=false&&tab=synonymy>>
- Netting R. M., Stone M. P.** 1996. Agro-diversity on a farming frontier: Kofyar smallholders on the Benue plains of central Nigeria. *Africa*, **66**(1): 52-70.
- Nouveau Larousse illustré.** 1989-1904. Carte générale de l'Afrique. *In* Nouveau Larousse illustré, dictionnaire encyclopédique, publié sous la direction de Claude Augé. Paris : Librairie Larousse. 1p. Echelle : 1 :36 500 000. [On-line] <URL: http://www.lib.msu.edu/branches/map/AfJPEGs/109ae25L35v1_1.jsp>
- Oaten H., Holland J., Smith B., Leather S.** 2008. Does the spatial density of field margins affect aerially dispersing aphid predators, if so, at what scale ? *Landscape management for functional biodiversity, OIBC*, **34**: 73-76.
- O'Connor A. M.** 1965. New railway construction and the pattern of economic development in East Africa. *Transactions of the Institute of British Geographers*, **36**: 21-30
- Ofuya T. I.** 1991a. Aspects of predation in *Cheilomenes lunata* (Fabricius) (Coleoptera : Coccinellidae) on the cowpea aphid, *Aphis craccivora* Koch (Homoptera Aphididae) in Nigeria. *Zeitschrift fuer Angewandte Zoologia*, **78**(4), 413-419.

- Ofuya T.I.** 1991b. Aspects of the ecology of predation in two coccinellid species on the cowpea aphid in Nigeria. *Behaviour and impacts of Aphidiphaga*, 213-220.
- Ofuya T. I.** 1990. Observations of the biology of *Cheilomenes vicina* (Mulsant) (Coleoptera : Coccinellidae), a predator of the cowpea aphid, *Aphis craccivora* Koch (Homoptera: Aphididae) in Nigeria. *Nigerian Journal of Science*, **24**, 171-173.
- Ofuya T. I.** 1989. Effects of weeds on colonization of cowpea by *Aphis craccivora* Koch (Homoptera: Aphididae) and its major predators in Nigeria. *Tropical pest management*, **35**(4) 403-405.
- Ofuya T. I.** 1988. Functional and numerical response of *Cheilomenes lunata* (Fabricius) (Coleoptera : Coccinellidae) feeding on cowpea aphid *Aphis craccivora* Koch (Homoptera : Aphididae). *Insect Science Application*, **9**(4): 543-546.
- Ofuya T. I.** 1986. Predation by *Cheilomenes vicina* (Coleoptera : Coccinellidae) on the cowpea aphid, *Aphis craccivora* (Homoptera : Aphididae) : effect of prey stage and density. *Entomophaga*, **31**(4): 331-335.
- Ogenga-Latigo M.W.** 1994. Species range and abundance of insect predators of the bean aphid, *Aphis fabae* Scop. (Homoptera : Aphididae) on common beans in Kenya. *Insect Science Application*, **15**, (1), 55-59.
- Ogenga-Latigo M. W. , Baliddawa C. W. Ampofo J. K. O.** 1993. Factors influencing the incidence of black bean aphid *Aphis fabae* Scop., on common beans intercropped with maize. *African Crop Science Journal*, **1**, 1, 49-58.
- Ogenga-Latigo M. W., Baliddawa C. W. Ampofo J. K. O.** 1992a. Influence of maize row spacing on infestation and damage of intercropped beans by the bean aphid (*Aphis fabae* Scop.). I. Incidence of aphids. *Field Crops Research*, **30** : 111-121.
- Ogenga-Latigo M. W., Baliddawa C. W. Ampofo J. K. O.** 1992b. Influence of maize row spacing on infestation and damage of intercropped beans by the bean aphid (*Aphis fabae* Scop.). II. Reduction in bean yields. *Field Crops Research*, **30**: 123-130.
- Otto S., Buzzeti F. M., Zanin G., Duso C.** 2008. Evaluating predator diversity and abundance in vineyards and the contiguous hedgerows. *Landscape management for functional biodiversity, OIBC*, **34**: 77-80.
- Papierok B., Hajek A. E.** 1997. Fungi : Entomophthorales. In *Manual of Techniques in Insect Pathology*. California : L. Lacey, 187-210. (Biological Technique Series)
- Petit S., Lavigne C., Fergusson A. et al.** 2010. Conservation Biological Control at the landscape level : measuring and modeling. *Landscape management for functional biodiversity, OIBC*, **56**: 87-93.
- Poinsot D.** 2004. Statistiques pour les statophobes [On-line] <URL : <http://perso.univ-rennes1.fr/denis.poinsot>> . 142p.
- Remaudière G., Autrique A.** 1985. Contribution à l'écologie des aphides africains. Italie : FAO, 214p. (Etude FAO production végétale et protection des plantes,64)
- Ricci B., Franck P., Toubon J.F., Bouvier J.C., Sauphanor B., Lavigne C.** 2009. The influence of landscape on insect pest dynamics: a case study in southeastern France. *Landscape Ecology*, **24**: 337-349.

- Roschewitz I., Hüker M., Tschardtke T., Thies C.** 2005. The influence of landscape context and farming practices on parasitism of cereal aphids. *Agriculture, ecosystems and Environment*, **108**: 218-227.
- Rusch A., Valantin-Morison M., Sarthou J. P., Roger-Estrade J.** 2010. Biological control of insect pests in Agroecosystems: effects of crop management, farming systems, and seminatural habitats at the landscape scale : a review. *Advances in Agroecology*, **109**: 219-259.
- Shiundu A.**, 2011. East-Africa : Reforms in Sugar as Comesa Reprieve Ends. [On-line] Daily Nation on the web, 1 August 2011. [22/08/11] <URL: <http://www.nation.co.ke/News/Reforms+in+sugar+as+Comesa+reprieve+ends+/-/1056/1211970/-/7ncggm/-/index.html>>
- Southwood T. R. E., Way M. J.** 1970. Ecological background to pest management. *Concepts of pest management*: 6-28.
- Srikanth J., Lakkundi N. H.** 1990. Seasonal population fluctuations of cowpea aphid *Aphis craccivora* Koch and its predatory coccinellids. *InsectScience Application*, **11**(1): 21-26.
- Sullivan D. J.** 1987. Insect hyperparasitism. *Annual Review of Entomology*, **32**: 49-70.
- Thies C., Roschewitz I., Tschardtke T.** 2005. The landscape context of cereal aphid-parasitoid interactions. *Proceedings of the Royal Society Biological Sciences Series B*, **272**: 203-210.
- Thies C., Steffan-Dwenter I., Tschardtke T.** 2003. Effects of landscape context on herbivory and parasitism at different spatial scales. *OIKOS*, **101**: 18-25.
- Tingey W. M., Lamont W. J.** 1988. Insect abundance in field beans altered by intercropping. *Bulletin of Entomological Research*, **78**: 527-535.
- Tschardtke T., Bommarco R., Clough Y., Crist T. O., Kleijn D., Rand T. A., Tylianakis J. M., Nouhuys A. V., Vidal S.** 2007. Conservation biological control and enemy diversity on a landscape scale. *Biological Control*, **43**: 294-309.
- Tschardtke T., Brandl R.** 2004. Plant-insect interactions in fragmented landscapes. *Annual Review of Entomology*, **49**: 405-430.
- Tshernyshev W. B.** 2008. Some approach to natural enemies management. *Landscape management for functional biodiversity, OIBC*, **34**: 101-104.
- Van der Werf W., Goedhart P., Bianchi F. J. J. A., Baveco H.** 2008. Kernel approach for quantifying the spatial extend of the ecosystem service of pest control provided by non-crop habitats in agricultural landscape. *Landscape management for functional biodiversity, OIBC*, **34**: 113-116.
- Van Emden H. F.**, 1981. Wild plants in the ecology of insect pests. In: *Pest pathogens and vegetation: the role of weeds and wild plants in the ecology of crop pests and diseases*. J. M. Thresh (ed.). p. 251-261.
- Van Emden H. F., Williams G. F.** 1974. Insect stability and diversity in agro-ecosystems. *Annual review of entomology*, **19**: 455-475.

- Van Emden H. F.** 1965. The effect of uncultivated land on the distribution of cabbage aphid (*Brevicoryne brassicae*) on an adjacent crop. *Journal of Applied Ecology*, **2**: 171-186.
- Van Emden H.F.** 1964. The importance of adjacent uncultivated land in relation to crop pest insects. Proceeding of the International Congress of Entomology. 12th, 1964, London, U.K.
- Veres A., Petit S., Conord C., Lavigne C.** 2010. A literature review on impacts of landscapes characteristics on densities of pests and on their regulation by natural enemies. *Landscape management for functional biodiversity, OIBC*, **56**: 129-133.
- Vorley V. T., Wratten S. D.** 1987. Migration of parasitoids (Hymenoptera: Braconidae) of cereal aphids (Hemiptera: Aphididae) between grassland, early-sown cereals and late-sown cereals in Southern England. *Bulletin of Entomological Research*, **77**: 555-568.
- Wratten S., Lavandero B., Scarratt S., Vattala D.** 2003. Conservation biological control of insect pests at e landscape scale. *Landscape management for functional biodiversity, OIBC*, **26**(4): 215-220.

Table des annexes et annexes

Annexe 1. Echelle BBCH des stades phénologiques du haricot.

Haricot Feller et al., 1995 b



Échelle BBCH des stades phénologiques du haricot

(*Phaseolus vulgaris* L. var. *nanus*)

Code	Définition
Stade principal 0: germination	
00	semence sèche
01	début de l'imbibition de la graine
03	imbibition complète
05	la radicule sort de la graine
07	hypocotyle et cotylédons percent les téguments de la graine
08	hypocotyle et cotylédons se dirigent vers la surface du sol
09	levée: les cotylédons percent la surface du sol
Stade principal 1: développement des feuilles	
10	les cotylédons sont étalés
12	2 feuilles sont étalées (une paire de feuilles est étalée)
13	3 feuilles étalées (première feuille trifoliolée)
1 .	et ainsi de suite ...
19	9 ou davantage de feuilles étalées (2 feuilles simples et 7 ou davantage de feuilles trifoliolées)
Stade principal 2: formation de pousses latérales	
21	la première pousse latérale est visible
22	2 pousses latérales sont visibles
23	3 pousses latérales sont visibles
2 .	et ainsi de suite ...
29	9 ou davantage de pousses latérales sont visibles
Stade principal 5: apparition de l'inflorescence	
51	les premiers boutons floraux sont visibles et dépassent les feuilles
55	les premiers boutons floraux individuels, mais toujours fermés sont visibles et dépassent les feuilles
59	les premiers pétales sont visibles, les boutons floraux sont nombreux mais toujours fermés

Stade principal 6: la floraison

60	les premières fleurs sont ouvertes (sporadiquement)
61	début de la floraison ²
62	20% des fleurs sont ouvertes ¹
63	30% des fleurs sont ouvertes ¹
64	40% des fleurs sont ouvertes ¹
65	pleine floraison: 50% des fleurs sont ouvertes ¹ période de floraison principale ²
67	la floraison s'achève: la majorité des pétales sont tombés ou desséchés ¹
69	fin de la floraison: les premières gousses sont visibles ¹

Stade principal 7: développement du fruit

71	10% des gousses ont atteint leur longueur finale ¹ , début du développement des gousses ²
72	20% des gousses ont atteint leur longueur finale ¹
73	30% des gousses ont atteint leur longueur finale ¹
74	40% des gousses ont atteint leur longueur finale ¹
75	50% des gousses ont atteint leur longueur finale, les graines commencent à remplir la gousse ¹ , période principale du développement des gousses ²
76	60% des gousses ont atteint leur longueur finale ¹
77	70% des gousses ont atteint leur longueur finale, les gousses se cassent proprement ¹
78	80% des gousses ont atteint leur longueur finale ¹
79	les gousses ont atteint leur longueur finale, les haricots sont visibles individuellement ¹

Stade principal 8: maturation des fruits et graines

81	10% des gousses sont mûres (les graines sont dures) ¹ , début de la maturation des graines ²
82	20% des gousses sont mûres (les graines sont dures) ¹
83	30% des gousses sont mûres (les graines sont dures) ¹
84	40% des gousses sont mûres (les graines sont dures) ¹
85	50% des gousses sont mûres (les graines sont dures) ¹ , période de maturation principale ²
86	60% des gousses sont mûres (les graines sont dures) ¹
87	70% des gousses sont mûres (les graines sont dures) ¹
88	80% des gousses sont mûres (les graines sont dures) ¹
89	maturation complète: les gousses sont mûres (les graines dures) ¹

Stade principal 9: sénescence

97	la plante est morte
99	produit après récolte

Lexique :

Apoth : plante d'intérêt alimentaire, cultivée ou adventice cueillie

Boh : niébé en langue Luo

Chuiri : grande saison des pluies, en langue Luo

Dala : dans la tradition Luo, unité d'occupation de l'espace : ensemble des maisons d'une même famille enclos par des haies, langue Luo

Euphorbia: plante traditionnellement utilisée en haies pour marquer la propriété.

Erokamano : merci, langue Luo

Jamna : Jamelonier, en langue Luo, arbre fruitier du nom scientifique de *Syzygium cumini*

Kikun : pucerons, langue Luo

Kute : bioagresseurs en langue Luo

Matatu : transport en commun local

Ododo : *Euphorbia dubius* langue Luo

Oganda : haricot, en langue Luo

Opon : petite saison des pluies, en langue Luo

Rosecoco : variété de haricot, en langue Luo

Simba : maison des fils, en langue Luo

Syzygium cumini : arbre fruitier : Jamelonier, *Jamna* en langue Luo

Thevetia peruviana : plante traditionnellement utilisée en haies pour marquer la propriété.

Ugali : en langue Luo : aliment de base au Kenya, constitué de farine de maïs.