

REPUBLIQUE DU CAMEROUN
Paix – Travail – Patrie

MINISTERE DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

INSTITUT DE RECHERCHE AGRICOLE
POUR LE DEVELOPPEMENT

CENTRE REGIONAL DE MAROUA
STATION POLYVALENTE
DE GAROUA
B.P. 415 Boklé
Tél.: (237) 227 23 33



REPUBLIC OF CAMEROON
Peace – Work - Fatherland

MINISTRY OF SCIENTIFIC
AND TECHNICAL RESEARCH

INSTITUTE OF AGRICULTURAL
RESEARCH FOR DEVELOPMENT

REGIONAL CENTER OF MAROUA
POLYVALENT STATION
OF GAROUA
P.O. Box 415 Boklé
Tel.: (237) 227 23 33

PROTECTION INTEGREE DU COTONNIER ET GESTION DES RESISTANCES AU NORD CAMEROUN

RAPPORT ANNUEL 2006 - 2007

mai 2007

**J. ACHALEKE
T. BREVAULT
L. COUSTON**

TABLE DES MATIERES

RESUME	2
1. DIAGNOSTIC ET SURVEILLANCE DES RESISTANCES.....	3
1.1. MISE EN PLACE D'UN RESEAU DE SURVEILLANCE DE LA RESISTANCE	3
1.1.1. <i>Cas de la noctuelle H. armigera</i>	3
1.1.2. <i>Cas du puceron A. gossypii</i>	5
2. MECANISMES ET PROFIL EPIDEMIOLOGIQUE DES RESISTANCES	8
2.1. CARACTERISATION DES MECANISMES DE RESISTANCE.....	8
2.1.1. <i>Cas de la noctuelle H. armigera (Thèse en cours J. Achaleke)</i>	8
2.1.2. <i>Cas du puceron A. gossypii</i>	8
2.2. STRUCTURATION GENETIQUE DES POPULATIONS D'INSECTES CLES.....	8
2.2.1. <i>Profil épidémiologique de la résistance chez H. armigera</i>	8
2.2.2. <i>Brassage génétique chez H. armigera</i>	10
3. CONCEPTION ET MISE EN ŒUVRE DE STRATEGIES DE GESTION DURABLE DES RESISTANCES.....	13
3.1. VALIDATION D'OUTILS DE GESTION ET D'AIDE A LA DECISION	13
3.1.1. <i>Alternatives aux pyréthrinoïdes à l'amorce du pic d'infestation</i>	13
3.1.2. <i>Echelle d'expérimentation des programmes de gestion de la résistance</i>	14
3.2. ADOPTION DES INNOVATIONS ET ACCOMPAGNEMENT	16
3.2.1. <i>LOIC « lutte sur observation individuelle des chenilles »</i>	16

RESUME

Les activités de l'équipe IRAD Entomologie coton s'inscrivent dans une problématique de prévention et de gestion durable de la résistance aux insecticides chez les ravageurs à risque des cultures cotonnière et maraîchère. Outre la détection précoce de foyers de résistance et l'évaluation annuelle du risque épidémiologique, elles visent, au travers de la compréhension des mécanismes de résistance, la définition de programmes de protection intégrée de la culture entrant dans le cadre d'itinéraires techniques adaptés aux contraintes des producteurs.

Même si le statut de la résistance aux pyréthriinoïdes chez la noctuelle *Helicoverpa armigera* s'est stabilisé, probablement en raison des mesures de gestion appliquées en culture cotonnière, il reste très préoccupant, avec comme conséquence des échecs de traitement au champ. L'élargissement du système de surveillance à la sous-région a permis de confirmer la présence de populations résistantes au Tchad (projet PICUR, PRASAC-ARDESAC). Le positionnement raisonné de matières actives alternatives dont l'efficacité a été prouvée, est une première réponse à l'augmentation de la résistance et aux pertes de rendement consécutives, même si leur coût élevé reste un frein à leur utilisation systématique. Plus en amont, des recherches sont conduites dans le cadre du Ph. D de J. Achaleke pour tenter de cerner les facteurs biologiques (mécanisme de résistance), écologiques (migration des adultes) et génétiques (dominance) affectant l'évolution de la résistance. Des collectes d'insectes (notamment piégeage), des bioessais au laboratoire (croisements et tests toxicologiques), des analyses chimiques et moléculaires (isotopes stables de carbone et marqueurs microsatellites) sont réalisés. Les résultats doivent permettre une meilleure compréhension de la dynamique de la résistance pour l'amélioration de sa gestion.

Concernant le puceron *Aphis gossypii*, un profil de résistance à différentes matières actives insecticides ainsi que des mécanismes de résistance correspondants a été dressé pour les principaux génotypes rencontrés en culture cotonnière et maraîchère. L'acetamiprid, molécule introduite depuis peu en culture cotonnière, ne rencontre pas de résistance. Cependant, la résistance à la cyperméthrine, insecticide le plus utilisé sur coton et maraîchage, est très élevée pour les génotypes du coton, contrairement aux génotypes des autres plantes hôtes. Des mécanismes de modification de la cible et de détoxification semblent impliqués dans cette résistance. Ces résultats permettent de dresser une carte de « résistance » des génotypes du puceron pour orienter les stratégies de lutte ou de gestion de la résistance, non plus contre l'espèce sensu lato, mais contre tel ou tel génotype fréquentant une gamme de plantes hôtes déterminée.

Dans le cadre d'une stratégie de gestion de la résistance et de la réduction de la dépendance de la culture vis-à-vis des insecticides, un outil permettant de diminuer la pression de sélection insecticide est la réduction de la fréquence des applications, basée sur des seuils d'intervention. Le principe est de n'utiliser les insecticides que lorsque la densité des ravageurs est telle qu'elle risque de provoquer des pertes de récolte dont le coût serait supérieur au coût d'une intervention. Un nouveau programme de protection baptisé « LOIC » (Lutte sur Observation Individuelle de Chenilles de la capsule) a été proposé à 5 groupements de producteurs de coton volontaires. Celui-ci s'appuie sur l'utilisation d'une planchette individuelle de comptage des chenilles, permettant une observation et une prise de décision individuelle, en rupture avec le schéma traditionnel Sodécoton. La pertinence de cette méthode a été évaluée par un suivi de l'itinéraire de traitements, de la validité des prises de décision, de la maîtrise de l'outil de comptage, des rendements en coton-graine et par une enquête de satisfaction.

1. DIAGNOSTIC ET SURVEILLANCE DES RESISTANCES

1.1. Mise en place d'un réseau de surveillance de la résistance

Introduction

Des mesures au champ réalisées dans la zone des savanes d'Afrique centrale, corroborées par des tests de laboratoire, indiquent que la proportion d'individus résistants aux insecticides vulgarisés est aujourd'hui significative, chez certaines espèces d'insectes ravageurs communs aux cultures cotonnières, maraîchères et à d'autres plantes cultivées ou spontanées. Le phénomène de résistance peut toucher n'importe quelle espèce d'insecte et tous les types d'insecticides. Il constitue une réponse adaptative des insectes face aux modifications et aux agressions de leur environnement. Deux groupes de ravageurs polyphages provoquant d'importants dégâts dans les cultures cotonnières et maraîchères ont récemment attiré l'attention de la recherche: la noctuelle, *Helicoverpa armigera* (Hübner) et les insectes piqueurs suceurs tels que le puceron, *Aphis gossypii* Glover. En compromettant directement l'efficacité des mesures de protection phytosanitaire des cultures, l'apparition d'une résistance des ravageurs aux insecticides menace aujourd'hui la pérennité de certaines filières agricoles des savanes d'Afrique centrale. Les actions prioritaires à conduire concernent d'abord le renforcement du système de biosurveillance à l'aide de tests diagnostics utilisables par les agents de vulgarisation.

1.1.1. Cas de la noctuelle *H. armigera*

La chenille *H. armigera* Hübner a été choisie comme premier modèle d'étude puisqu'elle représente dans la région le ravageur principal du cotonnier et de la tomate dont elle affecte la production par destruction des organes fructifères. Le recours massif aux pyréthrinoïdes pour lutter contre ce ravageur a provoqué ces dernières années, dans quasiment toutes les régions du monde, l'apparition de résistances conduisant à des échecs de traitement au champ.



Chenille d'*H. armigera* sur tomate.

Matériel et méthodes

Enquête de sensibilité

Au cours de la campagne 2006, le suivi de la sensibilité des populations d'*H. armigera* a été réalisé au moyen de la technique des flacons imprégnés (Mc Cutchen *et al.*, 1989¹). Cette technique repose sur l'utilisation de flacons en verre dont la paroi est préalablement imprégnée de matière active insecticide. La matière active retenue pour l'enquête est la cyperméthrine. Deux types de flacons (30 ml) sont préparés au laboratoire : 10 flacons non traités (témoin) et 30 flacons imprégnés chacun avec 30 µg de cyperméthrine, dose censée éliminer de 60 à 80% des individus d'une souche résistante collectée au Bénin en 1997 (Vaissayre *et al.*, 2002)² – dose diagnostic établie à partir de la souche sensible BK77, 5 fois la DL 99. Les chenilles, d'une taille comprise entre 10 et 15 mm (stade 3-4), sont récoltées dans les parcelles de coton au plus tôt deux jours après une application d'insecticide. Elles sont placées individuellement dans les flacons imprégnés dépourvus de nourriture et conservés à température ambiante. Le nombre de chenilles mortes est relevé 24 heures plus tard. Les chenilles qui ne bougent plus ou moribondes, c'est-à-dire incapables de mouvements coordonnés, sont considérées comme mortes. Le test est répété deux fois pour un même site d'enquête.

¹ Mc Cutchen, B.F., F.W. Plapp, S.J. Nemeć and C. Campanhola, 1989. Development of diagnostic monitoring techniques for larval pyrethroid resistance in *Heliothis* spp. (Lepidoptera : Noctuidae) in cotton. *Journal of Economic Entomology*, 82, 1502-1507.

² Vaissayre, M., J.M. Vassal, S. Irving and C. Staetz, 2002. A vial test method for the survey of pyrethroid resistance in *Helicoverpa armigera* in West Africa. *Resistant Pest Management Newsletter*. 12(1): 20-22.

Analyse des données

Le taux de survie corrigé (TSC) tient compte de la mortalité dite naturelle enregistrée dans les flacons témoins (non traités), selon la formule : $TSC = 100 - [(TS \text{ traité} - TS \text{ témoin}) / (TS \text{ témoin})]$ (Abbott, 1925)³.

Résultats et discussion

Enquête de sensibilité à la cyperméthrine

Le suivi de sensibilité a été mené sur 14 secteurs de la zone cotonnière (Fig. 1). La collecte des chenilles et la lecture des résultats ont été réalisées conjointement par des agents d'appui technique de la Sodécoton et l'Irad. La synthèse des données collectées donne une image de la sensibilité aux pyréthrinoïdes de populations de chenilles, dans l'espace et dans le temps. Certains des tests prévus n'ont pu être effectués au mois d'août, par manque de chenilles.

Tableau 1. Résultats des enquêtes de sensibilité à la cyperméthrine chez *H. armigera* par flacons imprégnés avec 30 µg de cyperméthrine – campagne 2006/07.

Région	Secteur	Taux de survie corrigé (%) 30 µg m.a. par flacon			
		coton août	coton octobre	tomate décembre	tomate février
Maroua nord	Mora	42.9	66.8		
	Bogo	46.2	52.4		
Maroua sud	Mokong	41.7	54.6		
	Gobo	57.1	73.3		
Tchatibali	Kaélé	67.1	77.3		
	Guider	58.3	72.9		
Garoua	Bibémi	52.6	58.3		
	Gaschiga	64.6	77.9	71.5	84.1
Ngong	Djalingo	59.0	58.9	78.3	61.7
	Poli	55.8	57.4		
Mayo Galké	Tcholliré	42.9	64.3		
	Sorombéo	48.2	56.7		
Toubo	Sud-Vina		50.3		

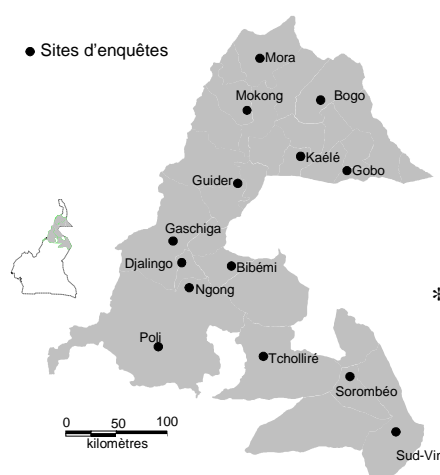


Figure 1. Représentation cartographique des sites d'enquête – campagne 2006/07.

Dans les cas où l'on a pu obtenir des données complètes, on observe que le taux de survie des chenilles augmente systématiquement entre le début et la fin de la campagne (Tab. I). Si l'on considère que la plage de survie d'une population résistante se situe entre 20 et 40% à la dose testée, on observe partout un dépassement de la limite supérieure dès le mois d'août, amplifié au mois d'octobre et synonyme d'échecs de traitement prévisibles au champ. En culture de tomate de saison sèche, on note une augmentation importante de la résistance à Gaschiga entre décembre et février, probablement due à l'utilisation massive de pyréthrinoïdes à l'intérieur du périmètre maraîcher. Dans le secteur de Djalingo (Kismatari), l'augmentation de la résistance a été spectaculaire entre octobre et décembre, puis a diminué significativement entre décembre et février, période où les surfaces de maïs deviennent importantes au détriment des surfaces en culture de tomate.

Le taux moyen de survie augmente entre le début et la fin de chaque période d'infestation du coton par les chenilles, en raison de la pression de sélection exercée par la cyperméthrine sur toute la zone cotonnière (Fig. 2).

³ Abbott, W.S., 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology*. 18: 265-267.

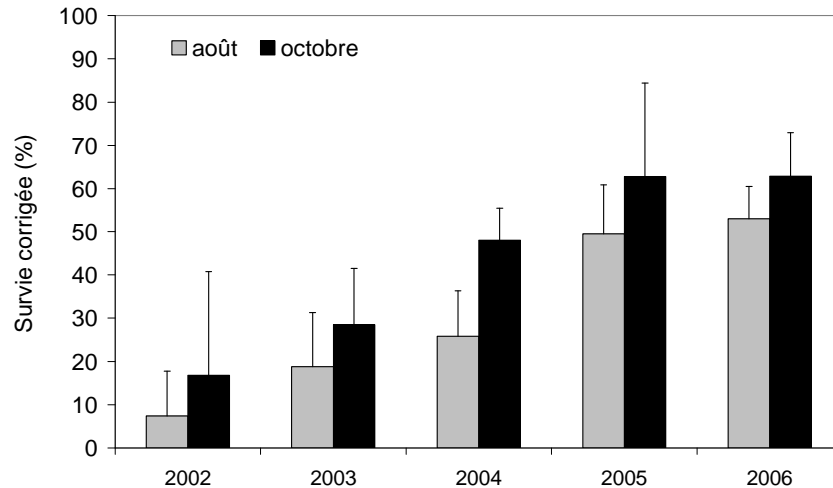


Figure 2. Taux de survie moyens et maxima en début (août) et au pic d'infestation (octobre), Cameroun.

Pour la première fois depuis 2002, on a observé une diminution sensible de la résistance entre octobre 2005 et août 2006. Après une tendance significative à la perte de sensibilité à la cyperméthrine chez les populations d'*H. armigera* au Cameroun, entre 2002 et 2005, le niveau moyen de résistance s'est stabilisé en 2006. On se repose la question du rôle des plantes hôtes de saison sèche (notamment la tomate et le maïs), des mécanismes de la résistance (coût et héritabilité) et des flux de gènes (migrations et diapause) dans l'explication du profil épidémiologique de la résistance.

Conclusion

La technique des flacons imprégnés donne une image intéressante du niveau de sensibilité des populations d'*H. armigera* dans l'espace et dans le temps. Cependant, les résultats obtenus pour un test ne sont pas généralisables ou forcément représentatifs de la situation d'une région, d'un secteur donné, voire d'un terroir ou encore d'une parcelle. Les résultats doivent être interprétés comme des indicateurs permettant de soupçonner la présence de populations résistantes et de suivre l'évolution de cette résistance. Les souches suspectes ont été mises en élevage au laboratoire pour déterminer le niveau de résistance (DL_{50}) et les mécanismes impliqués (spectre de résistance croisée, coût associé et héritabilité).

1.1.2. Cas du puceron *A. gossypii*

L'identification au moyen de marqueurs microsatellites de génotypes spécialisés sur le coton et d'autres sur certaines cultures maraichères (Vanlerberghe et al., 1999⁴; Brévault et al., 2006⁵) a permis de dresser un profil de résistance de ces génotypes à différentes matières actives insecticides utilisées au Cameroun. Le spectre d'insecticides testé comprend la cyperméthrine (pyréthrine) et le profénofos (organophosphoré), deux insecticides utilisés en traitement classique du coton et en cultures maraichères, le monocrotophos, utilisé pour la dernière année en 2005 en traitement foliaire en cas de fortes infestations de début de cycle du cotonnier, l'acetamiprid récemment vulgarisé sur toute la zone cotonnière et le diméthoate, molécule qui n'est plus vulgarisée sur coton depuis une dizaine d'années, mais pour laquelle une résistance a été observée chez certaines populations de pucerons (Nibouche *et al.*, 2002).⁶



Puceron *A. gossypii* sur poivron.

⁴ Vanlerberghe-Masutti F., Chavigny P., Fuller S.J., 1999. Characterization of microsatellite loci in the aphid species *Aphis gossypii* Glover. *Molecular Ecology*, 8, 865-702.

⁵ Brévault T., Picault S., Carletto J., Vanlerberghe-Masutti F., 2006. Cotton races in *Aphis gossypii* evidenced by microsatellite markers and life history parameters. Beltwide Cotton Conferences, January 3-6 2006, San Antonio, USA.

⁶ Nibouche S., J. Beyo and T. Brévault, 2002 - Negative Cross Insensitivity in a Dimethoate Resistant Strain of Cotton Aphid *Aphis gossypii* Glover in Northern Cameroon. *Resistant Pest Management Newsletter*, 12, 1, 25-26.

Matériel et méthodes

Dispositif expérimental

De la gélose à base d'eau (1 l) d'agar-agar (20 g) et de nipagine (30 mg) est coulée dans des boîtes de Pétri aérées par le couvercle (diamètre 5 cm). Une rondelle de jeune feuille prélevée à l'emporte-pièce dans la plante testée est appliquée sur la gélose lorsque celle-ci se solidifie, face inférieure au-dessus. Chaque disque foliaire reçoit un volume de solution insecticide de $2\mu\text{l}/\text{cm}^2$ en très fines gouttelettes grâce à un pulvérisateur de précision (Burkard, UK) permettant une couverture homogène de la surface. Pour chaque matière active, 5 doses ont été testées en plus du témoin et le test est répété 3 fois. Après séchage du disque foliaire à l'air libre (15 minutes), 20 macrotypes aptères du génotype testé ont été déposés, les boîtes refermées avec un couvercle muni d'un filet insect-proof et placées en conditions contrôlées ($T=25\pm 2^\circ\text{C}$, photopériode 12 :12). Le décompte des individus morts, moribonds ou vivants est effectué 24 h après le transfert.

Pucerons

Les génotypes C9 (trouvé sur cucurbitacées), Burk (malvacées dont coton), Pipo (piment-poivron) et Auber (aubergine) ont été testés sur des disques foliaires d'une plante correspondant à leur spécificité d'hôte. Le génotype Nm1, originaire de Navacelles et fourni par l'INRA (UMR ROSE), est élevé sur melon et constitue la souche sensible de référence.

Analyse des résultats

Pour chaque matière active, les taux de mortalité associés aux 5 doses testées ainsi qu'au témoin ont été calculés afin d'estimer la DL_{50} (dose létale pour 50% des individus d'une population) des populations échantillonnées à l'aide du logiciel WinDL50 (CIRAD, 1999). Les coefficients de résistance (CR) ont ensuite été calculés en divisant la DL_{50} obtenue par celle de la souche sensible de référence. Une population est considérée comme résistante si son CR est supérieur à 1, sans que cela n'implique toutefois l'inefficacité au champ de la matière active.

Résultats et discussion

L'acetamiprid, molécule introduite depuis peu en culture cotonnière, ne rencontre pas encore de résistance (Fig. 3). La résistance à la cyperméthrine, insecticide le plus utilisé sur coton et maraîchage, est très élevée pour les génotypes Burk et Auber, contrairement aux génotypes Pipo et C9. Les génotypes sont tous résistants au diméthoate et dans une moindre mesure aux organophosphorés, monocrotophos et profenofos. Ce résultat montre que le retrait du diméthoate dans les stratégies de gestion phytosanitaire n'entraîne pas de régression immédiate et rapide des populations résistantes dans les années qui suivent.

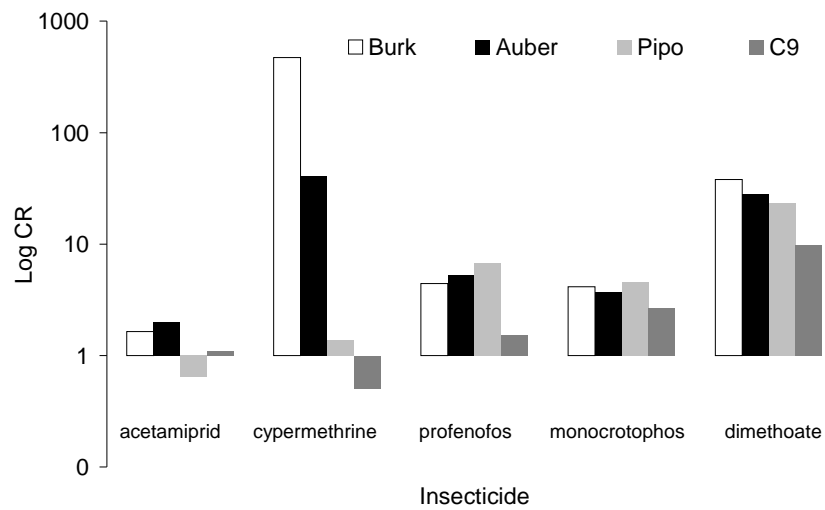


Figure 3. Coefficient de résistance (CR) à divers insecticides chez les génotypes Burk, Auber, Pipo et C9 d'*A. gossypii*.

Conclusion

Ces résultats, à l'échelle des génotypes, doivent permettre d'orienter les stratégies de lutte ou de gestion de la résistance, non plus contre *A. gossypii* sensu lato sur l'ensemble des plantes hôtes, mais contre tel ou tel génotype fréquentant une gamme de plantes hôtes déterminée. Si cette première étape permet de mieux connaître le puceron *A. gossypii*, il apparaît fondamental de compléter sa carte d'identité en caractérisant, à l'aide de marqueurs génétiques ou biochimiques, les individus ou génotypes porteurs d'allèles de résistance aux insecticides (cf. 2.1).

2. MECANISMES ET PROFIL EPIDEMIOLOGIQUE DES RESISTANCES

2.1. Caractérisation des mécanismes de résistance

2.1.1. Cas de la noctuelle *H. armigera* (Thèse en cours J. Achaleke)

Preliminary findings on a series of research on *Helicoverpa armigera* Glover resistance to synthetic pyrethroids are presented. The first aspect highlights the insecticide resistance mechanism(s) and cross resistance patterns to other insecticide groups. The second aspect examines genetic variations in populations of *H. armigera* in view to underline the process by which this pest colonise the cotton system in north Cameroon. The third aspect examines the refuge function of maize to the management of insecticide resistance in the agro-ecological landscape of certain regions of north Cameroon. As these factors interact to account for the observed image of *H. armigera* to the pyrethroid insecticides, a critical view of these may usher new ideas for resistance management considerations.

2.1.2. Cas du puceron *A. gossypii*

Des travaux en cours, menés en collaboration avec l'INRA (UMR ROSE), montrent que certains génotypes identifiés au Cameroun possèdent des mutations génétiques leur conférant une résistance à certaines matières actives insecticides de la famille des organophosphorés et aux pyréthriinoïdes (Tab. 4). Les tests de sensibilité aux insecticides confirment la résistance au diméthoate des 4 génotypes étudiés, la résistance aux organophosphorés (monocrotophos et profenofos) des génotypes Burk, Auber et Pipo et la résistance aux pyréthriinoïdes (cyperméthrine) du génotype Burk. D'autre part, des essais en cours au laboratoire montrent qu'un mécanisme de détoxification enzymatique est impliqué dans la résistance à la cyperméthrine du génotype Auber.

Tableau 4. Allèles de résistance à différentes familles de matières actives pour les génotypes d'*A. gossypii* identifiés dans le nord du Cameroun. S : allèle sensible ; R : allèle résistant.

Plantes hôtes	Génotype	Mutations		
		Ace A302S	Ace S431F	skdr M918L
Malvacées (coton)	Burk	RR	RR	RS
Aubergine	Auber	RR	RR	SS
Piment-poivron	Pipo	RR	RR	SS
Cucurbitacées	C9	SS	RR	SS
Résistance		OP	dimethoate	pyrethriinoïdes

Ces résultats permettent de dresser une carte de « résistance » des génotypes du puceron du coton *A. gossypii*, pour raisonner des méthodes de lutte adaptées à la nature de la culture.

2.2. Structuration génétique des populations d'insectes clés

2.2.1. Profil épidémiologique de la résistance chez *H. armigera*

Introduction

La compréhension de l'épidémiologie de la résistance aux pyréthriinoïdes ne se limite pas au seul coton, compte-tenu de la grande mobilité et du caractère polyphage d'*H. armigera*. En effet, les chenilles sont présentes tout au long de la saison sèche dans les périmètres maraîchers de la région ou dans le sud du pays, sur tomate et maïs en particulier (Fig. 2). Dès le début de la saison pluvieuse, on

les retrouve en densité importante dans la zone cotonnière, sur les adventices du genre *Cleome*. On assiste ensuite à un transfert des populations sur les parcelles de maïs, dès que celles-ci entrent dans la phase de floraison. Le coton ne devient réellement attractif qu'à l'entrée en floraison, dès mi-juillet pour les parcelles les plus précoces, puis 4 à 5 semaines plus tard pour les plus tardives.

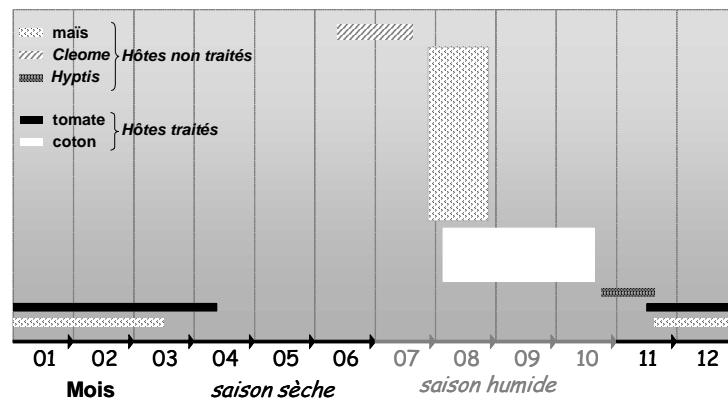


Figure 2. Dynamique des populations d'*H. armigera* en fonction des plantes hôtes, dans la région de Garoua (Cameroun). La largeur des bandes représente approximativement l'abondance de l'hôte.

Matériel et méthodes

Enquête de sensibilité

Le suivi de la sensibilité des populations d'*H. armigera* a été réalisé au moyen de la technique des flacons imprégnés, dans la région de Garoua au Cameroun (Gaschiga, Djalingo et Ngong), sur la succession de plantes hôtes - *Cleome viscosa*, maïs, coton, *Hyptis* et tomate.

Résultats

Une diminution significative de la sensibilité des chenilles est observée au cours de la campagne 2006/07 sur la succession de plantes hôtes étudiée, selon un profil similaire à 2005/06 mais différent des années précédentes (Fig. 3). D'une part, le niveau de résistance des chenilles prélevées sur *C. viscosa* puis sur maïs en début de saison pluviale 2005 est très élevé. Tout se passe comme si les populations colonisant les *Cleome* s'étaient formées essentiellement à partir d'individus résistants recrutés localement, c'est-à-dire issus du coton et/ou des cultures maraîchères de saison sèche (diapause ?), contrairement à 2004 où l'on pouvait supposer l'introduction dans le système de d'individus sensibles par migration et /ou un fitness moindre des individus porteurs d'allèles de résistance. D'autre part, on n'observe pas d'augmentation significative de la résistance sur le coton comme les années précédentes. L'introduction d'une alternative aux pyréthrinoïdes au mois de septembre (endosulfan ou indoxacarb selon les secteurs) et/ou la migration tardive d'individus sensibles (longue distance) pourraient expliquer ce phénomène.

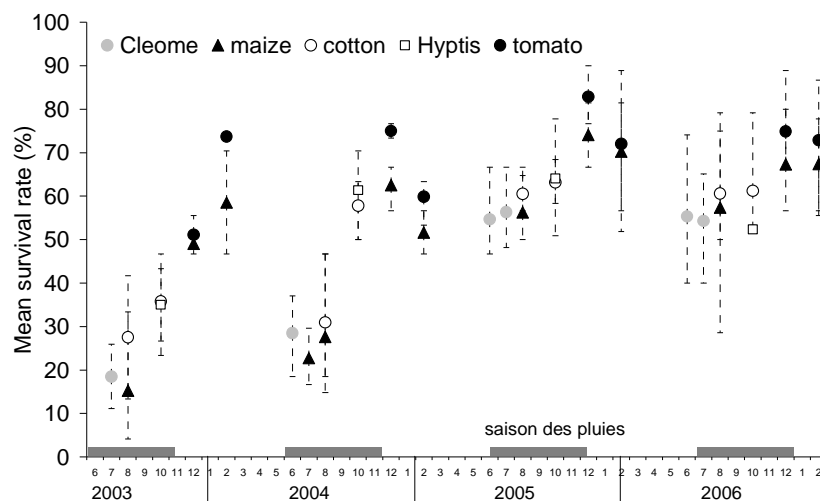


Figure 3. Taux de survie corrigée (moyennes, minima et maxima) pour des souches d'*H. armigera* sur une succession de plantes hôtes.

L'absence de différences entre les taux de survie des couples non traité/traité comme maïs/coton, *Hyptis*/coton et maïs/tomate confirme l'hypothèse d'absence de barrière reproductive entre les individus issus des différentes plantes hôtes (Achaleke *et al.*, 2005)⁷. En saison sèche, la tomate et le maïs irrigué, même s'ils ne représentent que peu de surface, constituent deux hôtes importants dans le cycle évolutif d'*H. armigera*. Sous la forte pression insecticide exercée dans les cultures de tomate (souvent à base de produits destinés à la protection du coton), le niveau de sensibilité continue à diminuer significativement, d'autant plus que les périmètres maraîchers fonctionnent à cette période de l'année comme des îlots (probablement peu d'échanges de gènes avec l'extérieur).

Conclusion

Les enquêtes menées lors de la campagne 2006/07 sur le statut de la résistance d'*H. armigera* aux pyréthrinoïdes font état d'une situation très préoccupante dans toute la zone cotonnière (Brévault & Achaleke, 2005⁸). Si les mesures de gestion de la résistance ont pu limiter l'extension du phénomène pendant la saison des pluies, on observe seulement une stabilisation de la résistance dont les causes sont difficiles à identifier. D'où viennent les papillons qui colonisent les premières plantes spontanées de début de saison des pluies ? D'où viennent les papillons qui pondent dans les parcelles de coton ? Pour mieux comprendre et prévoir l'évolution de la résistance à l'échelle du système coton, il nous faut évaluer l'importance des flux de gènes à l'intérieur du système (succession d'hôtes), mais aussi provenant de l'extérieur du système (migration).

2.2.2. Brassage génétique chez *H. armigera*

Introduction

H. armigera feeds on diverse plants (Common, 1953) and like any other polyphagous insect, food choice is an important variable for larval survival, development and reproductive success of moths (Gould, 1984). It has a wide distribution (Fitt, 1989) and undergoes extensive migrations (Farrow, 1987; Zhou *et al.*, 2000a; Feng *et al.*, 2004). Previous studies (Daly and Greg, 1985; Nibouche, 1998; Zhou *et al.*, 2000b) indicated extensive gene flow between populations at regional basis. With recent isolation and development of microsatellite markers (Tan *et al.*, 2001; Ji *et al.*, 2003, 2005; Scott *et al.*, 2004), interregional movement patterns in populations of *H. armigera* in the Darling Down (Scott *et al.*, 2005) and inter host movements patterns at Murrumbidgee (Scott *et al.*, 2006) both in Australia

⁷ Achaleke, J., T. Brévault, L. Blondin and J.M. Vassal, 2005. Interbreeding in *Helicoverpa armigera* populations from different host plants estimated by resistance status and microsatellite markers. AFPP – 7e Conférence Internationale sur les Ravageurs en Agriculture, Montpellier – 26 et 27 octobre 2005.

⁸ Brévault T., Achaleke J., 2005. Status of pyrethroid resistance in the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera*, in Cameroon. Resistant Pest Management Newsletter, 15(1).

have been mapped. Working in a similar line, we sort to understand the process by which *H. armigera* colonise cotton crop in north Cameroon. To understand this, we set to know the genetic constituents of populations that exist before, during and after cotton, in different sites.

Secondly we sort to understand the refuge function of maize through estimating via carbon stable isotopes (Ponsard et al., 2004; Bontemps et al., 2004) the proportion of *H. armigera* moths from each of the two major host types (cotton/maize). In the rainy season, these hosts coexist as major hosts of *H. armigera* in most of the agricultural landscape in north Cameroon. Maize is not subjected to insecticide application, and thus may serve as a refuge for *H. armigera*. Assuming host plants impose no mating barrier between populations, we sort to assess moth production from each host in view of ascertaining their respective contributions to the general image of resistance status, after considering the effect of migration as would be presented by microsatellite analysis.

Materials and method

To conduct these experiments, the following sampling frame was used.

Microsatellites

2005/2006: 27 larval population samples collected from diverse hosts (*Cleome* spp., tomato, cotton, maize and *Hyptis*) across Cameroon and one from Chad. 17 of these populations were genotyped at 10 loci (Hassr1, Hassr2, Hassr3, Hassr4, Hassr60 HaC14, 1 Hassr6, Hassr8, Hassr9 and Hassr10) in 2006 and 10 populations await genotyping. Collections were made such that at any instant, the genetic structure of populations could be compared either across similar/dissimilar hosts or across different geographic areas.

2006/2007: Moth collection (pheromone traps) were executed in six locations along the south-north transect of Cameroon. We retained a maximum of one population per site per month drawn at random from the total catch of each collection site. When the catch per site/month was less than 32, all individuals collected were considered as a population except in cases where the number of samples was less than 8. The main disposition of all collections was such that when ever possible samples should provide data that could permit at any instant to compare the population genetic structures at similar times across regions or across a time scale in site.

Stable carbon isotope

2005/2006: trap yield was generally low, but samples were analysed for stable carbon isotope. Reference populations were developed by raising larvae exclusively on the different major host plants. All moths were analysed for the C3/C4 content.

2006/7: samples selected for stable carbon isotope analysis (750).

Results

The period during which cotton and maize coexist in the landscape was considered and moths collected in areas where cotton and maize were major hosts were analysed by stable carbon isotope. Due to the absence of maize in some locations as in Dogba, such samples were not considered in the global picture of assessing the refuge function of maize. It was possible to distinguish two groups of field collected moths, the C4 and C3 emanating respectively from maize and cotton. The initial basis of reference samples was to investigate whether the stable carbon isotope ranges could sufficiently tie field collected moths to a specific host was not possible because of overlapping ranges in carbon stable isotope ratios in C3 moths (Fig. 4).

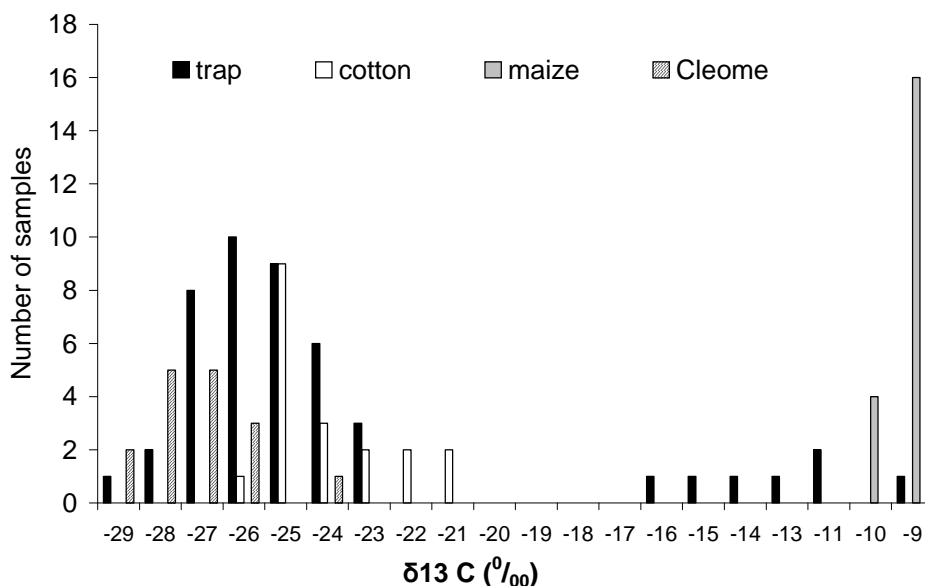


Figure 4. Temporal evolution and relative abundance of trapped moths that used maize and cotton as natal hosts during coexistence of cotton and maize in the 2005 cropping season.

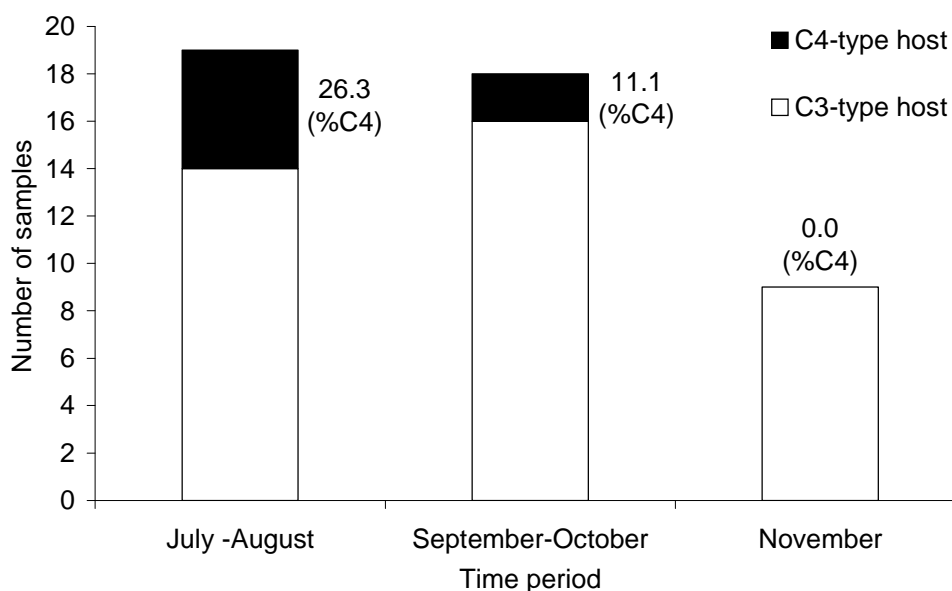


Figure 5. Temporal evolution and relative abundance of trapped moths that used maize and cotton as natal hosts during coexistence of cotton and maize in the 2005 cropping season.

However, it permitted us to underline for the first time that moths of Cleome fed larvae were of the C3 photosynthetic category as opposed to previous literature expressions. The interval between July and November was representing period when only cotton and maize constitute major hosts of *H. armigera* in the landscape was considered. It was observed that the pool of moths from maize field decreased from the neighbourhood of 25 to 0% by the end of the season (Fig. 5).

Conclusion

Following the sample frame of 2006/2007, a detailed view in terms of the spatial distribution of moths between cotton and maize agro-system would be obtained.

Nevertheless, there was an increased proportion of moth emanating from cotton t(ha maize fields along the season.

3. CONCEPTION ET MISE EN ŒUVRE DE STRATEGIES DE GESTION DURABLE DES RESISTANCES

3.1. Validation d'outils de gestion et d'aide à la décision

On observe régulièrement, en septembre-octobre, un pic d'infestation des cotonniers par les chenilles d'*H. armigera*, pic correspondant probablement à la 2^e ou 3^{ème} génération de chenilles sur coton, suite au transfert des populations depuis les parcelles de maïs et/ou de coton précoce en fin de floraison. En présence d'une amorce de ce pic (observation d'œufs ou de jeunes larves) et dans le cadre d'une stratégie adaptée de gestion de la résistance, il peut être judicieux d'intercaler dans le calendrier un traitement spécifique. Celui-ci doit faire intervenir une matière active au mode d'action différent des pyréthrinoïdes pour éviter la sélection d'individus résistants dans des populations où leur fréquence est déjà importante.

3.1.1. Alternatives aux pyréthrinoïdes à l'amorce du pic d'infestation

Les résultats de cette expérimentation sont synthétisés dans le poster : Brévault T., Ackaleke J., Oumarou Y., 2007. Biological activity and persistence of alternatives to pyrethroids for the control of the African Bollworm in Cameroon. ESA annual meeting, december 10-13 2006, Indianapolis, USA.

The efficacy of some conventional insecticides in protecting cotton from bollworm injuries was assessed in laboratory bioassays, by transferring larvae on treated cotton leaf disks. Active ingredients such as endosulfan and indoxacarb exerted shock effect on *H. armigera*, irrespective to larval stage. On the other hand, loss of susceptibility for cypermethrin was observed in field collected populations of *H. armigera*. Other bollworm pests were properly controlled by cypermethrin, endosulfan and spinosad, with the exception of indoxacarb for *Diparopsis watersi*. Simulated rain of 24 mm, two hours after insecticide application, significantly reduced efficacy of cypermethrin, indoxacarb and endosulfan, but with no effect on spinosad. The same intensity of rain applied at 12 and 24 hours after insecticide application affected only the efficacy of indoxacarb. Endosulfan and spinosad showed greater persistence than indoxacarb and cypermethrin, with respectively 13, 14, 8 and 5 days of 50 % efficacy after application. Simulated rain of 24 mm at 2-3 daily interval significantly reduced the persistence of all these insecticides (by about 50-70%).

Insecticide properties regarding persistence and shock effect on the different species and larval stages of cotton bollworms should be used for targeted pest management.

3.1.2. Echelle d'expérimentation des programmes de gestion de la résistance

Introduction

L'objectif principal de l'essai est de voir si l'on peut évaluer, en milieu réel, la pertinence de stratégies locales de gestion de la résistance aux pyréthriinoïdes chez *H. armigera*. Si l'on arrive aisément à comparer des programmes de traitement pour leur efficacité à protéger la culture contre le ravageur (expérimentations en station), il n'en va pas de même pour leur efficacité à prévenir ou retarder l'augmentation de la fréquence d'individus résistants au sein d'une population. En effet, les surfaces considérées dans ce type d'expérimentation sont trop faibles par rapport aux capacités de déplacement des insectes et des échanges de gènes inhérents. Sur le modèle des expérimentations mises en place lors des campagnes 2004/05 et 2005/06, nous nous sommes proposés de conduire 4 programmes de traitements insecticides sur 4 marchés comprenant 400 à 500 ha de coton chacun, pour une superficie totale d'environ 6000 ha. Parallèlement à l'application de ces programmes de traitement, un suivi hebdomadaire de la sensibilité des chenilles à la cyperméthrine a été réalisé.

Matériel et méthodes

Dispositif expérimental

Dispositif grande échelle : 4 patchs de 6000 ha (marchés contigus) – 400 à 500 ha de coton en parcelles paysannes par patch appliquant le même programme de traitements (Fig. 1).

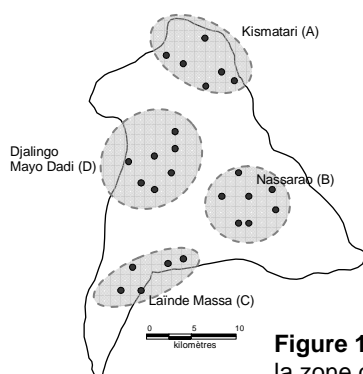


Figure 1. Représentation cartographique de la zone d'étude (secteur de Djalingo).

Réalisation des traitements

Le programme de traitements est appliqué selon les recommandations : traitement systématique tous les 14 jours à partir de l'apparition des premiers boutons floraux (Tab. 1).

Tableau 1. Programmes de traitements phytosanitaires

N° traitement	Fenêtre	Période	PROG A Kismatari 407 ha	PROG B Nassarao 414 ha	PROG C Laïnde Massa 478 ha	PROG D Djalingo M. Dadi 380 ha
1	0	01/07 au 14/07				
2	1	15/07 au 28/07	E	CP	E	E
3	2	29/07 au 11/08	E	CP	E	E
4	3	12/08 au 25/08	CP	E ⁵⁰⁰	CP _I	E ⁵⁰⁰
5	4	26/08 au 08/09	CP	E⁵⁰⁰	CP_I	E⁵⁰⁰
6	5	09/09 au 22/09	I	I	CP_I	I
7	6	23/09 au 06/10	CP	CP	CP_I	I
8	7	07/10 au 20/10	CP*	CP*	CP*	CP*

(E) ENDOSULFAN - 375 g/ha, (E⁵⁰⁰) ENDOSULFAN - 500 g/ha, (CP) CYPERMETHRINE-PROFENOFOS – 36 et 150 g/ha, (I) INDOXACARB OU SPINOSAD – 25 et 36 g/ha + ACETAMIPRID -10 g/ha en cas d'infestation de pucerons, (CP_I) MOSAÏQUE : comme CP pour 75% des surfaces, mais avec 25% des surfaces traitées avec INDOXACARB ou ENDOSULFAN. * : facultatif en fonction du stade phénologique de la culture.

Observations

A partir du 26/08 (début fenêtre 4) et tous les 14 jours jusqu'en fin d'infestation, un vial test est réalisé sur 40 chenilles, sur 6 blocs de parcelles par programme de traitements. La densité moyenne de chenilles est estimée à partir de l'inspection de 100 plants par bloc.

Résultats et discussion

Evolution de la fréquence des individus résistants

A l'inverse de la campagne 2004, les trajectoires des taux de survie des chenilles diffèrent peu entre les 4 zones et dans le temps (Fig. 2). A partir de la fenêtre 5, on note toutefois un impact positif du programme D d'exclusion de la cyperméthrine (zone Djalingo-Mayo Dadi) sur l'évolution de la résistance.

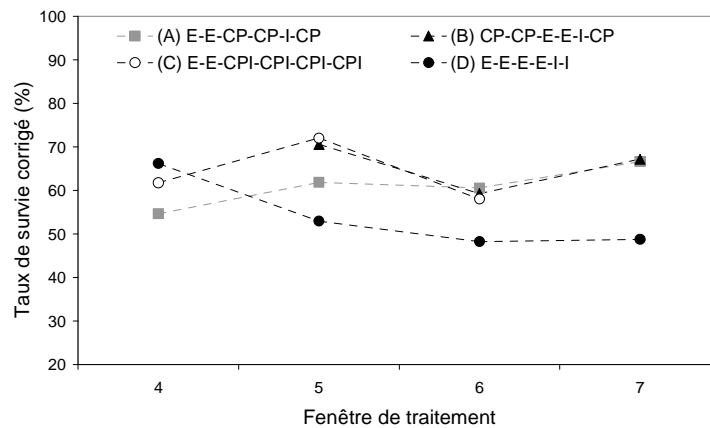


Figure 2. Evolution du pourcentage d'individus survivants à la dose de 30 µg de cyperméthrine par flacon (survie corrigée, 1 à 6 tests par zone).

Evolution de la densité de chenilles *H. armigera*

On observe un pic d'infestation de chenilles au cours de la fenêtre 6 (Fig. 3), dans la zone de Laïnde Massa (C) et dans une moindre mesure celle de Kismatari (A), deux zones où est appliquée la cyperméthrine 2 à 3 fois dans les fenêtres 4 à 6. A Djalingo (D) et Nassarao (B), où la cyperméthrine n'est pas appliquée ou appliquée une fois en fenêtre 6, la densité de chenilles est restée à un niveau faible. La cyperméthrine ne permet donc pas de contrôler correctement les infestations.

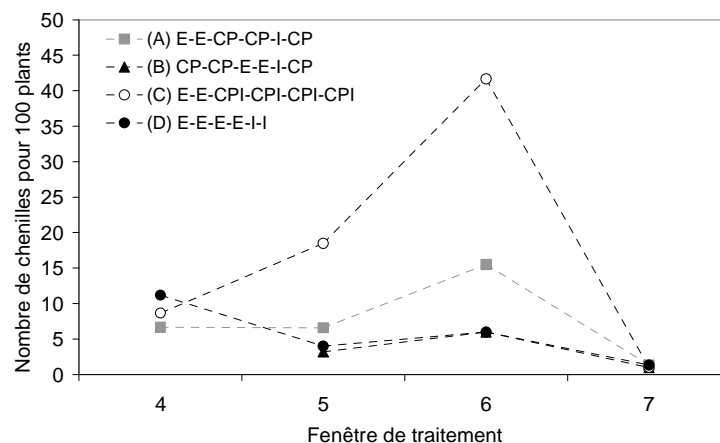


Figure 3. Evolution de la densité de chenilles dans les parcelles de cotonniers, selon les 4 programmes de traitement.

Conclusion

Un programme expérimental de gestion locale de la résistance, conduit sur une zone de 400-500 ha de coton et faisant intervenir une stratégie d'exclusion des pyréthrinoides, s'est avéré efficace pour « retarder » l'évolution de la résistance et diminuer les niveaux d'infestation par les chenilles d'*H. armigera*. L'évolution différentielle de la résistance selon les programmes de traitements comparés laisse supposer un brassage génétique réduit à l'échelle d'une dizaine de km (probable sédentarisation des adultes en présence de ressources suffisantes, au moins jusque début octobre). Si ce programme est difficilement applicable aujourd'hui, essentiellement pour des raisons de coût, les résultats montrent bien que la diminution de la pression de sélection, même à une échelle locale, permet de limiter l'augmentation de la fréquence d'individus résistants et par conséquent les niveaux d'infestation et de dégâts de la chenille de la capsule, *H. armigera*.

3.2. Adoption des innovations et accompagnement

3.2.1. LOIC « lutte sur observation individuelle des chenilles »

Pertinence d'une méthode de protection phytosanitaire en culture cotonnière basée sur l'observation et la prise de décision individuelle.

Introduction

Au Nord Cameroun, le coton représente le véritable moteur du développement rural et des évolutions techniques. Il est généralement cultivé dans de petits systèmes agraires (surface moyenne de coton par exploitation de 0,67 ha) et entre en rotation avec les cultures vivrières, principalement céréales (64,5 %) et arachide (22 %). Cultivé par neuf exploitations sur dix, il occupe un tiers de l'assolement et contribue pour environ 60 % au revenu monétaire des exploitants. La SODECOTON, Société de Développement du Coton au Cameroun, encadre la culture cotonnière, principal moyen d'accès aux ressources productives (engrais, pesticides et équipement agricoles). Malgré les difficultés actuelles de la filière (baisse de la rentabilité de la culture, chute des cours de la fibre et désengagement de l'état), la production cotonnière n'a cessé d'augmenter. Outre des aléas climatiques persistants, l'appauvrissement des sols et la hausse du coût des intrants (en particulier des engrais), les producteurs doivent faire face à une amplification de l'impact des ravageurs sur la production en coton-graine. La principale menace provient du complexe de chenilles de la capsule, *Helicoverpa armigera* (Hübner), *Diparopsis watersi* (Rothschild) et *Earias* spp., dont les attaques provoquent la chute ou la nécrose des organes fructifères, avec des conséquences importantes sur les composantes du rendement et la qualité de la récolte. Même si certaines pratiques culturales, le choix de caractères variétaux et l'action de l'entomofaune auxiliaire permettent de réduire leur incidence, le contrôle des chenilles de la capsule du cotonnier repose essentiellement sur la lutte chimique. Comme en Australie, en Chine, en Inde ou en Afrique de l'Ouest, le recours massif aux pyréthrinoides a été suivi des premiers échecs de traitement au champ contre *H. armigera*, imputables au phénomène de résistance aux pyréthrinoides. A terme, l'extension du phénomène pourrait mettre en danger la pérennité de la filière. En effet, outre de compromettre l'efficacité des programmes de lutte, la résistance peut avoir des répercussions importantes sur les plans économique, sanitaire mais également écologique par l'accroissement des quantités d'insecticides utilisées ou l'utilisation d'alternatives coûteuses. Au Cameroun, les contre-mesures phytosanitaires à mettre en place conduiraient aujourd'hui à un triplement du coût des programmes de traitement en culture cotonnière.

Pour maintenir l'efficacité des pyréthrinoides, une stratégie de gestion du phénomène de résistance a été progressivement mise en place au Cameroun dans le cadre de la lutte prédéfinie (LPD), avec l'objectif de diminuer la pression de sélection exercée sur *H. armigera* par les pyréthrinoides. La LPD repose sur des traitements insecticides systématiques, tous les 14 jours à partir du 45^{ème} jour après la levée. La campagne est découpée en fenêtres de traitement de 28 jours chacune, chaque fenêtre

regroupant donc deux traitements. Pour chaque traitement, le choix du produit ainsi que la dose d'utilisation sont fixés préalablement par la SODECOTON, en début de campagne (figure 1a). Les applications sont réalisées à l'aide d'un pulvérisateur portatif à très bas volume (10 l/ha).

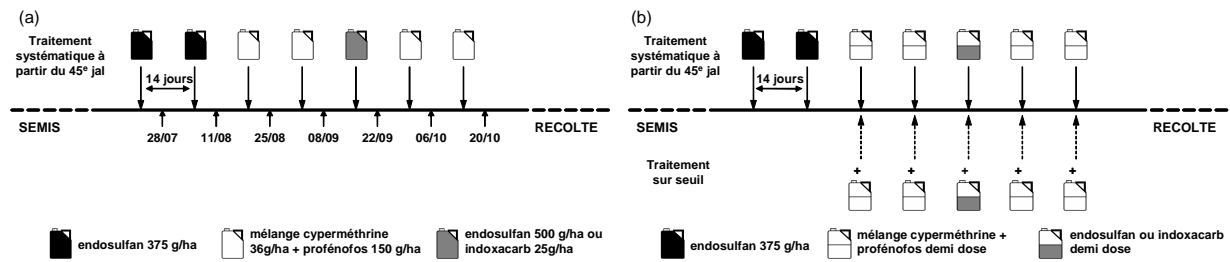


Figure 1. (a) Principe de la lutte pré-définie (LPD). Selon la date de semis, le premier traitement peut être en position 1, 2 ou 3. (b) Principe de la lutte étagée ciblée (LEC) adaptée au Cameroun. Jal : jours après levée

Jusqu'au 11 août, seul l'endosulfan, utilisé à 375 g/ha, est autorisé, comme matière active alternative utilisée en rotation. Les traitements suivants consistent en un mélange de cyperméthrine à 36 g/ha (pyréthrianoïde) et de profénofos à 150 g/ha (organophosphoré), sauf lors du traitement 5 (du 9 au 22 septembre) où l'utilisation d'une alternative aux pyréthrianoïdes est recommandée (endosulfan à 500 g/ha ou indoxacarb à 25 g/ha) depuis 2005.

Les parcelles des paysans, d'une surface unitaire d'environ un quart d'hectare, sont le plus souvent regroupées dans des blocs tandis que les producteurs sont organisés en groupements. Il peut y avoir plusieurs blocs par marché (lieu de collecte) et plusieurs groupements dans chaque bloc. Suivant les régions, ces blocs existent physiquement (blocs de plusieurs dizaines d'hectares d'un seul tenant) ou sont totalement fictifs (les parcelles appartenant à un même bloc sont dispersées). Pour chaque marché, des itinéraires de traitement sont établis et définis en début de campagne. L'itinéraire de traitement est le parcours réalisé par l'équipe de traitement bloc par bloc en une journée et reste identique à chaque traitement. Chaque groupement désigne un chef d'équipe (ou chef de chantier si celui-ci est sous la responsabilité de la SODECOTON) qui supervise un itinéraire de traitement, contrôle et vise la consommation de produit et le retour au magasin des pulvérisateurs après traitement.

La LPD présente l'avantage d'une utilisation modérée d'insecticides, le nombre de traitements variant de 4 à 7 (5.3 en moyenne) sur l'ensemble de la campagne (Thézé et al., 2006). Elle est relativement simple à vulgariser auprès des producteurs car elle ne requiert aucune connaissance préalable des ravageurs et s'applique selon un calendrier prédéfini. L'inconvénient majeur de ce programme est lié au caractère systématique, calendaire et collectif des traitements, ne tenant pas compte du niveau réel d'infestation des parcelles (risque de traiter en cas d'absence de ravageurs et inversement) et excluant toute prise de décision des producteurs (variable selon les objectifs de production). A aucun moment le planteur n'est impliqué dans la protection de sa parcelle.

Dans le cadre d'une stratégie de gestion de la résistance et de la réduction de la dépendance de la culture vis-à-vis des pesticides chimiques, un second outil permettant de diminuer la pression de sélection insecticide est la réduction de la fréquence des applications, basée sur des seuils d'intervention. Le principe est de n'utiliser les pesticides que lorsque la densité des ravageurs est telle qu'elle risque de provoquer des pertes de récolte dont le coût serait supérieur au coût d'une intervention. Le critère utilisé pour décider si un traitement se justifie ou non est un seuil de dégât économique. Ce seuil résulte d'un dénombrement d'insectes ou de symptômes liés à leur présence. Lorsque le résultat de ce dénombrement dans une parcelle est inférieur au seuil, aucun traitement n'est nécessaire. A l'inverse, lorsque le seuil est dépassé, il faut intervenir. Si cette méthode permet de ne traiter que lorsque c'est nécessaire, le rapprochement des observations à un intervalle hebdomadaire doit permettre également d'intensifier la protection par rapport au programme LPD lorsque les infestations le justifient. Des principes de lutte chimique raisonnée développés par Deguine et al. (1993) ont été mis en œuvre au Cameroun dans le cadre du programme de protection « lutte étagée

ciblée » (LEC). Ils reposaient sur deux étages de protection (figure 1b) : un traitement tous les 14 jours qui utilisait la moitié de la dose d'insecticide recommandée en LPD lorsque les observations indiquaient que les populations de ravageurs ne dépassaient pas les seuils économiques de dégâts. Ainsi, schématiquement, si les seuils n'étaient jamais dépassés, la quantité d'insecticide utilisée était divisée de moitié.

La mise en œuvre de la LEC au Cameroun a été faite sur une base d'organisation collective du travail et non sur une base individuelle comme cela a été le cas dans tous les autres pays d'Afrique subsaharienne ayant tenté, avec plus moins de succès, l'expérience (Michel et al., 1997 ; Nibouche et al., 1998 ; Silvie et al., 1998). Dans le système mis en place par la SODECOTON, tous les paysans d'un marché LEC appliquaient la LEC. Comme en LPD, les parcelles mitoyennes ou dispersées, étaient réunies dans des blocs. Les comptages de cinq familles de ravageurs : chenilles de la capsule (*H. armigera*, *D. watersi*, et *Earias* spp.), chenilles défoliatrices (*Syllepte derogata*, *Anomis flava* et *Spodoptera littoralis*), puceron du coton (*Aphis gossypii*), aleurodes (*Bemisia tabaci*) et acarions (*Polyphagotarsomenus latus*) étaient réalisés bloc par bloc, à raison d'une parcelle d'un quart d'hectare (ou quart d'observation) par hectare. Les observations portaient sur 25 cotonniers par quart d'observation. Les résultats des observations réalisées sur les différents quarts d'un bloc étaient ensuite cumulés. La décision d'appliquer au bloc une pleine ou une demi-dose d'insecticide se prenait sur la base de l'observation moyenne, le seuil d'intervention pour les chenilles de la capsule étant de 6 chenilles pour 25 plants (Galichet, 1959). Les observations étaient réalisées par des observateurs rémunérés par la SODECOTON, le coût étant ensuite répercuté aux producteurs. Le taux appliqué était approximativement de un observateur pour 60 ha. Les observateurs, choisis par les paysans, étaient formés par la SODECOTON. Des fiches étaient utilisées pour consigner les observations réalisées, ce qui imposait de sélectionner des observateurs lettrés.

La Lutte Etagée Ciblée (LEC) a été pré vulgarisée pour la première fois au Cameroun durant la campagne 1990 et s'est rapidement développée jusqu'en 1994 pour concerner plus de 70 % des surfaces. Cependant, à compter de la campagne 1995 s'est amorcé un repli régulier de la LEC jusqu'à atteindre moins de 10% en 2000. La mauvaise qualité des observations, la faiblesse des marges (économies moyennes de 3000 FCFA/ha par rapport à la LPD) et la lourdeur de l'encadrement figurent parmi les principales causes de désaffection de la LEC Nibouche et al. (2003). La conclusion des auteurs reposait sur la nécessité de faire évoluer la protection phytosanitaire d'un système collectif vers un système individuel dans lequel chaque producteur prend la décision de traiter sa parcelle sur la base de son observation. Un nouveau programme de protection baptisé « LOIC » (Lutte sur Observation Individuelle de Chenilles de la capsule) a donc été proposé à différents groupements de producteurs volontaires. Celui-ci s'appuie sur l'utilisation d'une planchette individuelle de comptage des chenilles, permettant une observation et une prise de décision individuelle. La pertinence de cette méthode a été évaluée par un suivi de l'itinéraire de traitements, de la validité des prises de décision, de la maîtrise de l'outil de comptage, des rendements en coton-graine et par une enquête de satisfaction.

Matériel et méthodes

Principe de la LOIC

La lutte sur observation individuelle des chenilles de la capsule ou LOIC repose sur l'utilisation d'un outil d'aide à la décision (planchette de comptage) et la prise de décision individuelle (traitement sur seuil). La démarche d'adhésion à ce programme est volontaire. L'ensemble d'un groupement ne suivra donc pas forcément la LOIC mais il pourra coexister au sein d'un bloc des quarts conduits en LOIC ou en LPD. Les observations sont réalisées sur une base hebdomadaire et le traitement est effectué à pleine dose lorsque le seuil de 6 chenilles pour 25 plants est dépassé (figure 2a).

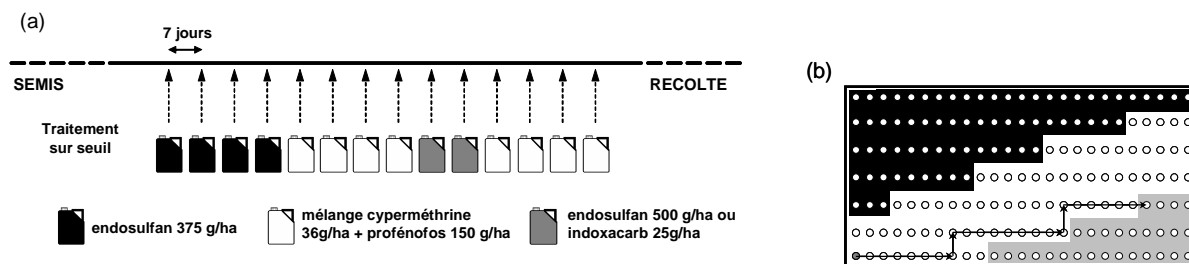


Figure 2. (a) Principe de la lutte sur observation individuelle des chenilles de la capsule (LOIC). Selon la date de semis, le premier traitement peut être en position 1, 2 ou 3. Jal : jours après levée. (b) Mode d'utilisation de la planchette de comptage pour échantillonnage séquentiel. L'épingle est avancée d'un trou vers la droite pour chaque plant observé. L'épingle est déplacée d'un trou vers le haut pour chaque chenille comptabilisée. Zone en gris clair : Ne pas traiter. Zone en noir : Traiter. Entre ces deux zones: continuer l'échantillonnage. Dans cet exemple : (1) Il n'y a pas de larve sur les 7 premiers plants et l'épingle est déplacée de 7 trous vers la droite, (2) il y a une larve sur le 8ème plant et l'épingle est déplacée d'un trou vers la droite et montée d'un trou vers le haut, (3) pas de larve trouvée de la 9ème à la 15ème plante, l'épingle est déplacée de 7 trous vers la droite, (4) une larve sur la 16ème plante, l'épingle est déplacée d'un trou vers la droite et d'un trou vers le haut, (5) pas de larve de la 17ème à la 22ème plante, l'épingle est déplacée de 6 trous vers la droite et entre dans la zone en gris clair : « Ne pas traiter » : l'échantillonnage est terminé et la décision est « Je ne traite pas ».

Les observations ne concernent que les chenilles de la capsule. Les autres ravageurs (pucerons, aleurodes, chenilles défoliatrices) sont gérés de la même manière que dans le programme LPD : sur seuil intégral après observation directe des dégâts (sans comptage) pour les pucerons et les chenilles défoliatrices, sur calendrier pour les aleurodes. Le problème majeur rencontré pour vulgariser un outil d'aide à la décision est généralement le faible niveau d'alphabétisation des producteurs. Ainsi, pour appliquer la LEC, les producteurs ont du avoir recours à des observateurs alphabétisés qui savaient lire et écrire pour tenir les cahiers d'observation. Pour disposer d'un outil utilisable par tous, le choix a été fait d'une planchette de comptage, inspirée du « peg board » (Beeden, 1972). L'expérience a montré que les planchettes pour échantillonnage à taille fixe (25 plants observés systématiquement) pouvaient être utilisées par les paysans au Burkina Faso (Nibouche et al., 1998) et au Mali (Michel et al., 1997). Dans le cadre de la LOIC, le choix s'est porté vers des planchettes pour échantillonnage séquentiel (Beyo et al., 2000), jusque-là non testées en milieu réel. L'échantillonnage séquentiel permet de prendre une décision d'intervention à partir d'un nombre de plants observés variable, réduit à 1 et à 10 plants lorsque le niveau d'infestation est fort (2 chenilles sur le premier plant observé) ou faible (absence de chenilles sur les 10 premiers plants observés), respectivement (figure 2b).

En plus de la planchette, les photos des 3 espèces de chenilles de la capsule à identifier ont été remises à chaque planteur sous forme de fiche plastifiée au format d'une carte d'identité. L'échantillonnage est réalisé sur des plantes choisies au hasard dans la parcelle parcourue selon une diagonale. L'ensemble des organes fructifères d'un plant sont observés de bas en haut (en suivant la tige principale, on observe chacune des ramifications fructifères) et les trois espèces de chenilles de la capsule ciblées sont cumulées. Pour un même producteur, le résultat obtenu pour un quart est extrapolable aux quarts adjacents (à raison d'un quart observé pour un hectare).

Dispositif expérimental

Choix des groupements

Pour des raisons pratiques, 5 groupements pilotes situés à moins de 100 km de Garoua ont été retenus pour la campagne 2006/07.

Ces groupements sont dits GPM (groupements avec mandat de gestion des intrants et du crédit). En 2005/06, 1801 groupements ont signé un contrat en campagne agricole pour l'ensemble de la zone cotonnière. Parmi ceux-ci, 791 en GPM dont 91 à Garoua et 149 à Guider, et 61 GPA (groupements en contrat d'autonomie de gestion) dont 8 à Garoua et 9 à Guider. Les autres groupements, GPB (groupements en contrat de base), restent sous l'encadrement d'un agent SODECOTON. Les groupements GPA peuvent être considérés comme les plus performants et les plus matures tandis que les groupements GPM sont intermédiaires. A l'intérieur de chaque groupement pilote, un groupe de producteurs motivés et volontaires ont suivi la LOIC (Tab.1).

Tableau 1. Groupements pilotes retenus pour la campagne 2006/2007

Région	Groupements pilotes	Nombre de producteurs total	Nombre de producteurs volontaires LOIC	Surface Totale (en quarts)	Surface en LOIC (en quarts)
GUIDER	Mindjiwa	259	32	560	106
	Sarwa	143	28	416	110
	Djek-Djek	269	30	376	41
GAROUA	Badjengo	416	47	1096	120
	Badjouma Centre	367	49	912	152
TOTAL		1454	186	3360	529

Les exploitations concernées par la LOIC sont de 3 types pour l'ensemble des groupements : les petites exploitations de taille inférieure à 1 ha (20%) avec une surface moyenne de coton de 0,44 ha, les exploitations intermédiaires de 1 à 2 ha (35%) avec en moyenne 0,87 ha implanté en coton représentant la moitié de l'assolement et les grandes exploitations de taille supérieure à 2 ha (45%) avec une superficie en coton de 1,4 ha en moyenne.

Formation des Agents d'encadrement et des producteurs

Les chefs de région, de secteur et de zone de la SODECOTON ont servi de premier relais de formation sur le terrain. Ils se sont ensuite chargés de la présentation de la LOIC aux agents de suivi et aux surveillants de culture, aux chefs d'équipe de traitement et aux producteurs en fin de saison sèche. Une séance de formation en salle et sur le terrain a été réalisée conjointement avec l'IRAD dans chacun des groupements après la levée des premiers cotonniers. Le contenu de cette formation a porté sur le concept de la LOIC, le calendrier des observations, l'échantillonnage des plants, la reconnaissance des chenilles, l'utilisation de la planchette et l'organisation des traitements.

Suivi de la campagne

Chaque planteur LOIC vient au magasin la veille du traitement avec sa planchette de comptage et le résultat obtenu pour chaque quart observé. Les résultats des observations de chacun des producteurs sont notés dans un cahier d'observation par l'agent de suivi. L'agent de suivi y reporte les informations demandées : date d'observation, nombre de cotonnier(s) observé(s), nombre de chenille(s), décision et extrapolation de la décision aux quarts d'un même producteur. En parallèle, les traitements effectués par le planteur sont enregistrés dans le cahier de traitement officiel de la SODECOTON. L'agent de suivi reporte le chiffre « 1 » dans la colonne d'un quart traité, ou le chiffre « 0 » en cas d'absence de traitement. Les produits et les doses utilisés en LOIC étant identiques aux autres programmes de protection, l'usure du matériel et des intrants (insecticides, savon et piles) étant fixe pour un traitement, il suffira de calculer le nombre de traitement réalisés par un producteur LOIC et de le multiplier par le coût de revient d'un traitement/quart pour connaître le montant de sa facture. Enfin, une parcelle de référence a été mise en place dans chaque région (Mindjiwa et Badjengo) pour suivre l'évolution des infestations et des dégâts de chenilles de la capsule, surveiller les principaux ravageurs et diagnostiquer les chutes d'organes fructifères en cas d'absence de traitements en LOIC (en particulier mirides). Les parcelles de référence ont été implantées les 13 et 21 juin 2006, à Mindjiwa et à Badjengo respectivement. Chaque parcelle élémentaire comprenait 12 lignes de 15 m, espacées de 80 cm. Le dispositif expérimental se présentait en blocs de Fisher à 6 répétitions comprenant trois niveaux de protection phytosanitaire : témoin non traité, programmes LPD et LOIC. Les organes fructifères abscissés (boutons et capsules) étaient ramassés tous les 2 à 3 jours sur un interligne par parcelle. Les ravageurs étaient dénombrés chaque semaine sur 40 plants par parcelle en cas d'infestation.

Enquête de perception

En fin de campagne, un questionnaire détaillé a été soumis aux producteurs. Les informations à recueillir portaient sur la structure des exploitations (surface agricole, assolement et élevage), la perception de la LOIC (définition, modalités de mise en place, intérêts), la maîtrise de la méthode et le degré d'autonomie.

Résultats

Déroulement de la campagne

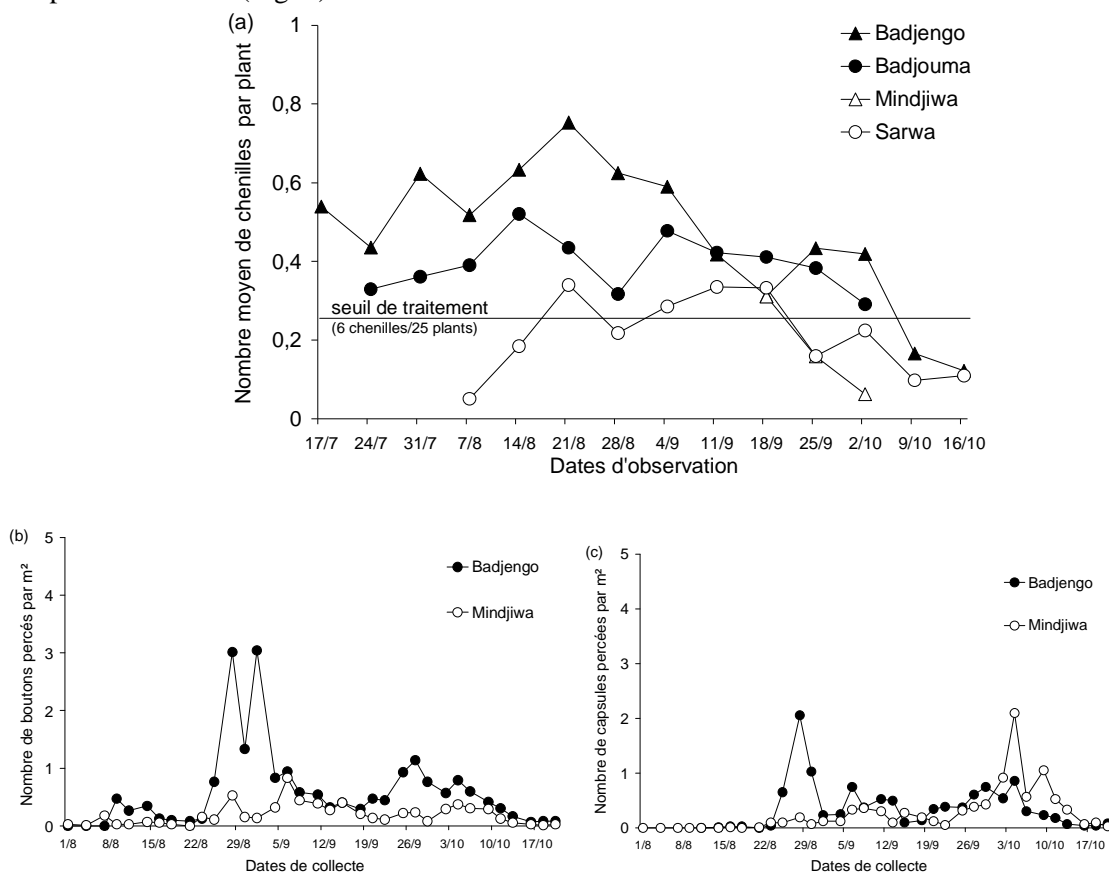
Les dates de levées des quarts étudiés en LOIC et en LPD sont distribuées d'une façon assez homogène à l'intérieur de chaque région et de chaque groupement (Tab. 2).

Tableau 2. Pourcentage des quarts levés en LOIC et en LPD entre chaque marché. n : nombre de quarts récoltés.

	Garoua				Guider				
	Badjengo		Badjouma		Mindjiwa		Sarwa		
	LOIC	LPD	LOIC	LPD	LOIC	LPD	LOIC	LPD	
	n	64	107	111	86	94	45	54	60
% levées au 10/06/2005		67.7	41.1	50.5	39	21.3	28.9	27.8	13.3
% levées au 20/06/2006		98.5	85	100	100	84	60	85.2	78.3
% levées au 30/06/2006		100	100			100	100	100	93.3

Les semis ont été généralement plus précoces dans la région de Garoua. Au 30 juin, la quasi totalité des parcelles des groupements pilotes étaient levés. La pluviométrie globale s'inscrit dans les moyennes annuelles dans la région de Guider comme dans la région de Garoua. Au cours de la saison, les pluies ont été régulières (au moins deux pluies utiles par décennie). Cependant, le mois de juin a été très sec à Guider (34 mm de pluie au total) tandis que dans la région de Garoua, une période de stress hydrique a été relevée durant la deuxième quinzaine de septembre (28 mm de pluie au total).

Le nombre moyen de chenilles de la capsule par plant a été obtenu à partir des résultats de comptages des planteurs LOIC (Fig. 3).



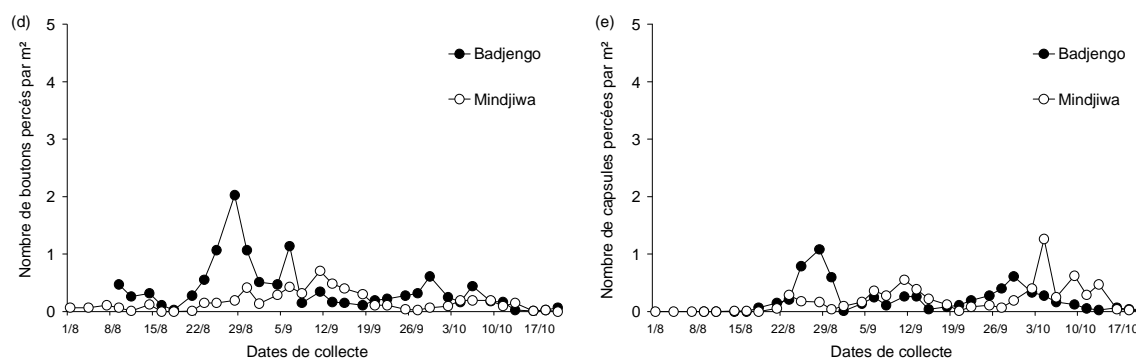


Figure 3. (a) Niveaux de populations, (b,c) dégâts des chenilles de la capsule dans les régions de Guider et de Garoua sur les parcelles témoins des essais des surveillance et (d,e) sur les parcelles conduites en LOIC.

D'importantes populations de chenilles de la capsule ont colonisé les cotonniers dès la mi-juillet sur le site de Badjengo, avec un premier pic observé à la fin du mois d'août. Les comptages sur les parcelles de référence non traitées indiquent une dominance de *H. armigera* sur *Earias spp* et *D. watersi* avec 55, 30 et 15 % respectivement. Un second pic moins important a été enregistré à la fin du mois de septembre présentant 75 % de chenilles *H. armigera*. Dans la région de Guider, les infestations sont devenues préoccupantes seulement vers la mi-septembre avec une nette dominance de *H. armigera* (90%). Des dégâts importants sont à signaler sur les capsules, dès la fin août dans la région de Pitoa puis à la fin du mois de septembre dans les deux régions, période à laquelle la chute de capsule a le plus de conséquences sur le rendement. Dans les deux régions, les observations hebdomadaires des parcelles de référence n'ont pas détecté d'importants dégâts de mirides, de pucerons ou d'aleurodes.

Dans la région de Garoua, les 2 groupements de Badjengo et de Badjouma ont suivi la LOIC durant toute la campagne tandis qu'à Guider, seuls Mindjiwa et Sarwa ont tenu leur engagement. Le groupement de Djek-Djek a reconduit la LPD après seulement 3 semaines d'exercice, prétextant la pénibilité des observations. Pour les groupements restant, les observations ont été en général correctement réalisées et reportées dans les cahiers d'observation par les agents de suivi. Toutefois, à Badjouma, le jour d'observation a dû être décalé pour éviter le jour du marché où certains planteurs n'observaient pas leur parcelle. A Mindjiwa, l'agent de suivi reportait sur le cahier d'observation des données non valides bien que la majorité des planteurs maîtrisaient la planchette. Pour ce groupement, les résultats ne sont exploitables qu'à partir du 18 septembre, date à laquelle l'agent a été remplacé. Les traitements ont été effectués par les planteurs LOIC eux-mêmes, ce qui a entraîné une réorganisation individuelle des chantiers de traitement. Ainsi, une dizaine d'appareils de traitements supplémentaires ont dû être mis à disposition des groupements de Badjouma et Badjengo. Le nombre d'appareils distribués par la SODECOTON étant limité et calculé pour des itinéraires de traitement collectifs tous les 14 jours, les chantiers de traitement LOIC occasionnent un besoin accru d'appareils.

Maîtrise de la planchette et décision

Dans 98% des observations, les producteurs ont obtenu un résultat que l'on considère comme valide au sens large, le curseur étant placé dans une zone de décision (Tab. 3). Les producteurs ont arrêté le comptage dès l'arrivée dans une zone de décision dans 84 % des cas. La décision de traiter ou de ne pas traiter donnée par la planchette est respectée dans 95% des situations. En cas de décision contraire, la tendance à Sarwa est de ne pas traiter malgré le dépassement du seuil d'intervention. A Badjouma et à Mindjiwa, les producteurs qui ne tiennent pas compte de la décision ont tendance à traiter alors que le curseur est dans la zone « ne pas traiter ».



Tableau 3. Validité de l'observation (i.e., sens strict : arrêt du comptage dès l'arrivée dans une zone de décision, sens large : dans une zone de décision) et de la prise de décision sur la totalité des observations. (n) nombre d'observations, (n*) nombre de décisions et (f) fréquence.

Région	Groupement	Nombre total d'observations	Observations valides (sens large)	Observations valides (sens strict)	Décision contraire de celle donnée par la planchette (observations au sens large)	Planchette = T Décision = NT	Planchette = NT Décision = T
		n	n (f)	n (f)	n* (f)	n* (f)	n* (f)
Garoua	Badjengo	697	684 (0,98)	564 (0,81)	0 (0,00)		
	Badjouma	749	723 (0,97)	673 (0,90)	45 (0,06)	18 (0,41)	26 (0,59)
Guider	Mindjiwa	277	276 (1,00)	241 (0,87)	39 (0,14)	13 (0,33)	26 (0,67)
	Sarwa	289	288 (1,00)	224 (0,78)	14 (0,05)	12 (0,86)	2 (0,14)
TOTAL		2012	1969 (0,98)	1702 (0,84)	97 (0,05)	43 (0,44)	54 (0,56)

Profil des traitements au champ

La fréquence de traitement a été très soutenue, en particulier à Badjengo où 63 % des quarts ont été traités chaque semaine (Tab. 4). A Badjengo, certains traitements du mois d'août ont été réalisés sous la pluie, ce qui peut expliquer des traitements quasi hebdomadaires pour certains planteurs qui auraient dû reprendre le traitement aussitôt après la pluie.

Tableau 4. Fréquence de quarts traités en LOIC sur un rythme hebdomadaire selon la fenêtre de traitement. (n) nombre de quarts levés depuis plus de 45 jours. En LPD, les fréquences sont égales à 0,5.

	Badjengo				Badjouma				Mindjiwa				Sarwa			
	n*	120	152	106	110											
fenêtre 1		0,74	0,54	0,33	0,37											
fenêtre 2		0,84	0,59	0,52	0,51											
fenêtre 3		0,70	0,66	0,31	0,37											
fenêtre 4		0,24	0,43	0,07	0,05											
Moyenne		0,63	0,55	0,31	0,33											
Nb moyen de traitements LOIC (± ET)		9,9 (± 2,2)	7,7 (± 2,2)	5,1 (± 2,3)	4,7 (± 1,5)											
Nb moyen de traitements LPD (± ET)		5,9 (± 0,9)	5,6 (± 0,8)	5,5 (± 1,0)	5,7 (± 0,5)											

Dans la région de Guider, le nombre de traitement en LOIC a été moins fréquent qu'en LPD avec 31 et 33 % des quarts traités hebdomadairement à Mindjiwa et à Sarwa respectivement. A Mindjiwa, une rupture du stock de piles est survenue pendant la première quinzaine de septembre et a empêché le traitement des parcelles. Globalement, le nombre de traitements réalisés au cours de la campagne a été plus important en LOIC qu'en LPD dans la région de Garoua et inversement dans la région de Guider.

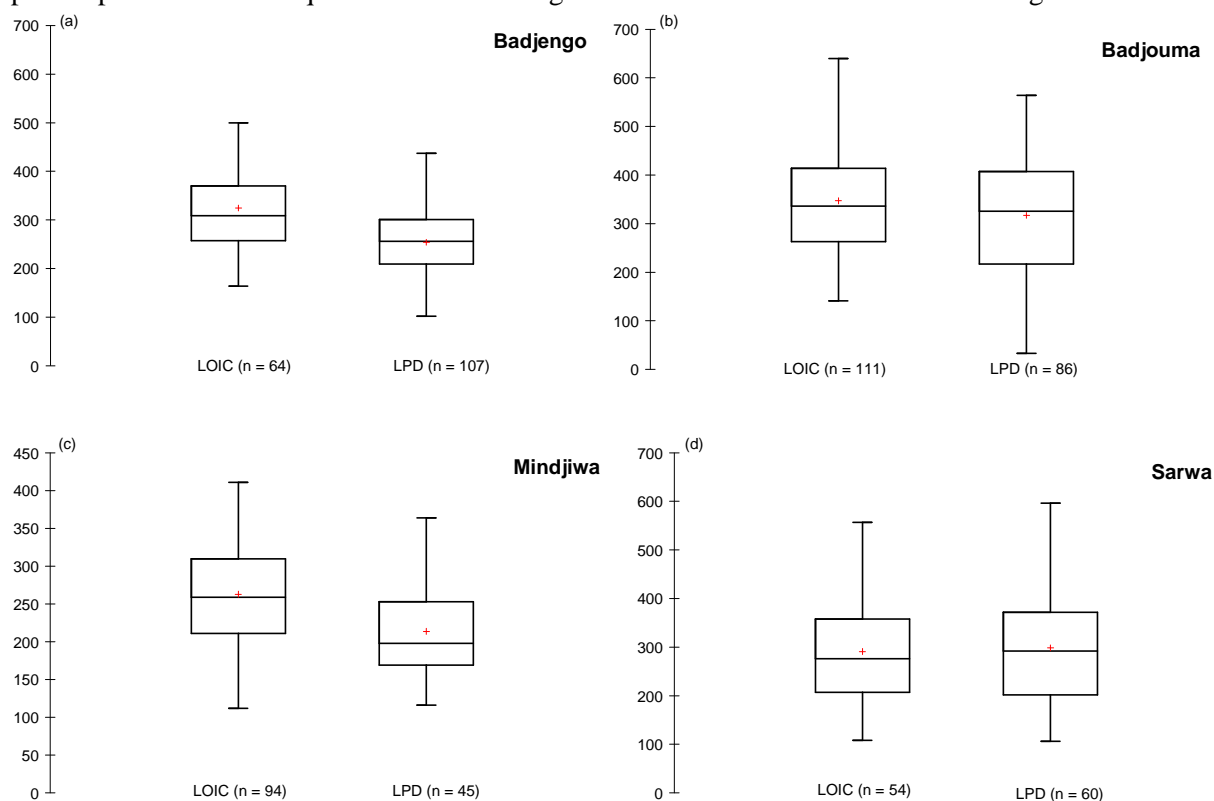


Figure 4. Rendements obtenus dans les différents sites entre les quarts LOIC et les quarts LPD. Les barres supérieures représentent le rendement maximum, la barre inférieure, le rendement minimum. Dans les boîtes, la croix représente la moyenne, les traits supérieurs et inférieurs les quartiles et le trait intermédiaire la médiane.

Globalement, l'application de la LOIC n'a pas entraîné de perte de rendement (Fig. 4).

Perception de la méthode et attentes

Les résultats de l'enquête sont en cours d'analyse. D'une façon générale, les producteurs enquêtés sont très favorables à l'individualisation des traitements phytosanitaires de leurs parcelles.

Discussion

La LOIC, une méthode attendue par les producteurs

L'accueil de LOIC a été très positif dans l'ensemble des groupements dans lesquels elle a été présentée et il a été nécessaire de limiter leur nombre pour des raisons d'encadrement. Le critère de volontariat a permis de sélectionner une base de producteurs motivés et désireux de s'impliquer dans la protection phytosanitaire de leur(s) parcelle(s). Ils ont porté de l'intérêt à cette méthode car ils acceptaient mal que leur soient imposés des traitements systématiques. Seul le groupement de Djek-Djek n'a pas montré d'intérêt pour cette méthode et l'a trouvé trop contraignante. Il semble que ce soit un noyau dur de producteurs (3 ou 4 planteurs) qui soit à l'origine de ce désintérêt. L'effet de groupe reste donc une problématique à résoudre dans ce nouveau système individualisé.

La grande réussite de ce travail réside dans la bonne compréhension de la LOIC et la maîtrise de la planchette de comptage par les producteurs. La formation (demi-journée) et l'encadrement étant limités au maximum pour faciliter une vulgarisation ultérieure à grande échelle, l'acquisition de la méthode a été rapide. Lettrés et illettrés peuvent se servir de cet outil sans aucune difficulté. En outre, les producteurs ont accordé une grande confiance, dans l'outil de comptage, en respectant dans 95 % des cas la décision. Le comportement des producteurs est différent quant à l'extrapolation des résultats d'un quart aux quarts adjacents. Certains préfèrent conduire la LOIC quart par quart tout au long de la campagne (cas de Mindjiwa) alors que d'autres ne réalisent qu'un seul comptage en faisant tourner leur quart d'observation toutes les semaines (cas de Sarwa et de Badjengo).

L'acquisition et la confiance ne font pas tout. En effet, il était à craindre qu'au bout d'un ou deux mois d'observation, l'effet de mode LOIC retombe et que les producteurs se lassent d'aller observer leur(s) parcelle(s), d'autant plus que les observations deviennent longues et fastidieuses avec la croissance des cotonniers. Pourtant, l'assiduité hebdomadaire des producteurs a été constante tout au long de la campagne, seules les personnes âgées ayant trouvé la méthode compliquée et les observations pénibles à réaliser, avec une tendance à confier la tâche à leurs enfants. Un problème s'est d'ailleurs posé au moment de la rentrée scolaire où les écoliers sont repartis en cours et où il a fallu reformer les anciens ou demander aux autres planteurs plus jeunes de réaliser les comptages pour eux. Il faut noter que l'échantillonnage séquentiel par rapport à un échantillonnage classique permet un gain de temps considérable. Globalement au cours de la campagne, les producteurs avaient pris une décision au bout du 10^{ème} plant observé, contre 25 plants systématiquement dans un échantillonnage classique. La prise de décision intervient plus rapidement en cas de fortes ou de faibles infestations, où l'observateur atteint rapidement une zone de décision, mais est plus longue lors d'infestations moyennes.

Des freins à sa mise en place

Les importants niveaux d'infestation de chenilles de la capsule enregistrés ont entraîné des traitements quasi hebdomadaires dans la région de Garoua durant les trois premières fenêtres de traitement (surtout à Badjengo). En tenant compte du profil d'infestation classique, il était prévu de ne déclencher les premiers traitements que vers la mi-août et d'économiser les deux ou trois premières applications par rapport à la LPD. Toutefois, une exceptionnelle infestation de chenilles a été enregistrée dès la mi-juillet dans la région de Garoua et les seuils d'intervention ont été dépassés dès le début de la campagne. À Guider, le pic d'infestation s'est produit de façon plus prévisible vers la fin du mois de septembre. L'effet escompté des traitements sur seuil, à savoir une économie de produits insecticides, n'est donc pas systématique. En fenêtre 1, les producteurs ont appliqué de l'endosulfan à dose de 375

g/ha, dose recommandée dans le cadre de la LPD. Ces traitements se sont avérés inefficaces pour contrôler les infestations. Certains producteurs ont effectué jusqu'à 4 traitements à demi dose alors que 2 traitements à pleine dose auraient probablement permis de juguler les populations. Lors de la prochaine campagne, la dose d'endosulfan préconisée en fenêtres 1 et 2 sera de 500 g/ha. Enfin, la notion de seuil n'est pas évidente pour l'ensemble des producteurs. En effet, certains ont tendance à traiter leur quart par précaution dès qu'ils trouvent une chenille, par peur d'une multiplication des chenilles d'une semaine sur l'autre. Il existe également une méconnaissance des produits insecticides qui sont souvent considérés comme efficaces sur l'ensemble des ravageurs. Ainsi, au mois d'août, une petite infestation de criquets a été observée à Badjouma et quelques planteurs ont décidé de traiter leur(s) parcelle(s) même lorsque le seuil d'intervention n'était pas dépassé. Un renforcement de la formation des producteurs travaillant en LOIC doit être envisagée (connaissance des ravageurs, des produits phytosanitaires et de la physiologie du cotonnier) de manière à optimiser la méthode et raisonner l'utilisation des pesticides.

Conclusions et perspectives

La LOIC apporte une solution de rupture avec ce système de pensée collective et permet donc aux paysans qui le souhaitent de leur donner le choix de la décision individuelle. La contrepartie est un investissement de travail supplémentaire avec l'observation et le traitement personnel des quarts. La LOIC reste une méthode qui nécessite des connaissances techniques de base et une réflexion de la part du producteur. Elle n'est pas transférable à tous les producteurs ne veut surtout pas l'être.

A terme, la LOIC pourrait se diriger vers une individualisation complète qui passerait par les choix de la fréquence des observations et du produit insecticide adapté. Il n'est plus possible aujourd'hui de continuer à fonctionner uniformément, il faut arriver à proposer un programme de protection adapté à chaque planteur, en fonction de ses objectifs de production. Il existe également des zones géographiques à faible infestation par les populations de chenilles de la capsule où la LOIC permettrait vraisemblablement de diminuer la fréquence de traitements au cours de la campagne. Il faudra donc introduire plusieurs outils d'aide à la décision.

Dans un premier temps, le nombre de groupements travaillant en LOIC va être élargi à 11 pour la prochaine campagne. Par ailleurs, une nouvelle méthode sur seuil intégral va être testée dans un ou deux groupements plus encadrés: le présence/absence sur 10 cotonniers. Cette méthode permet de réduire l'échantillonnage de 1 à 10 cotonniers et ne nécessite aucun matériel. La formation des planteurs ne portera donc plus que sur la reconnaissance des ravageurs et la technique de déplacement au cours de l'échantillonnage. Cette méthode permet aussi de faire facilement varier le seuil d'intervention au cours de la campagne (par exemple au moment des pics d'infestations, on peut imaginer un seuil à 1 chenille pour 5 cotonniers) sans avoir besoin de changer de support : il faudra en effet une planchette de comptage par seuil d'intervention si l'on travaille avec des seuils variables au cours de la campagne.