

La gestion des foreurs de la canne à sucre, l'environnement et les pratiques culturales : synthèse des résultats et perspectives

F-R. Goebel¹, M. Way² et D. Conlong²

¹CIRAD, UPR systèmes de cultures annuels, 34398 Montpellier cedex 5, France ; ²South African Sugarcane Research Institute, Mount Edgecombe, 4300, Afrique du Sud

RESUME

Les recherches conduites depuis 10 ans sur deux foreurs d'importance économique sur la canne à sucre, *Eldana saccharina* et *Chilo sacchariphagus*, ont permis de mettre en évidence l'importance d'une gestion intégrée de ces bioagresseurs, qui va d'un aménagement des techniques culturales à la protection biologique en passant par l'utilisation de plantes permettant un enrichissement de la biodiversité. A travers des exemples concrets en Afrique du Sud et à la Réunion et sur la base d'enquêtes régulières et d'expérimentations chez les planteurs (exploitations de petite et grande taille) il est montré que le cultivar, l'âge de la canne, la fertilisation azotée, l'apport de silice, la richesse de la biodiversité ont une influence parfois très importante sur les infestations de foreurs et que ces mêmes paramètres peuvent être utilisés pour lutter contre ces insectes. Cet article met en avant l'intérêt d'étudier davantage les pratiques culturales et les processus écologiques de l'agrosystème canne à sucre qui minimisent les dégâts d'insectes.

Mots clés : canne à sucre, *Eldana saccharina*, *Chilo sacchariphagus*, Afrique du Sud, Réunion, pratiques culturales.

INTRODUCTION

Les foreurs de la canne à sucre *Chilo sacchariphagus* Bojer (Lepidoptera, Crambidae) et *Eldana saccharina* (Lepidoptera, Pyralidae) sont des ravageurs d'importance économique en Afrique et dans l'Océan Indien. A la Réunion, *C. sacchariphagus* est responsable de pertes importantes pour la production cannière, notamment sur la variété sensible R579 (Goebel et al., 1999a) tandis qu'en Afrique du Sud les pertes dues à *E. saccharina* sont estimées entre 60 et 100 millions de rands (6 à 10 millions d'euros) (Keeping, 1995 ; Goebel et Way, 2003).

Ces deux foreurs ont des comportements similaires puisque leurs larves forent les entre-nœuds des cannes dès les premiers stades. Cependant leur bio-écologie diffère en de nombreux points, les plus saillants étant (i) que *E. saccharina* s'attaque à de nombreuses autres graminées, ce qui n'est pas le cas de *C. sacchariphagus* plus inféodé à la canne, et (ii) que ce même foreur provoque des dégâts sur canne à maturité alors que le deuxième a une préférence pour les jeunes cannes. De ce fait, les pertes qui en découlent sont de nature différente, *E. saccharina* ayant plutôt un impact sur le sucre (qualité), alors que l'autre espèce provoque une perte de tonnage à la parcelle suite à un ralentissement de la croissance des cannes (Goebel et al., 1999a ; Goebel et Way, 2003). Ces deux foreurs ont fait l'objet de recherches intensives ses vingt dernières années, avec des stratégies de lutte axées essentiellement sur la lutte biologique et la résistance variétale. Si la composante variétale permet de faire baisser les dégâts, la lutte biologique est plus difficile à mettre en oeuvre, particulièrement sur *E. saccharina* (Conlong, 1994). L'importance de certaines

pratiques culturelles dans la gestion des populations de foreurs a déjà été soulignée par de nombreux auteurs (Paxton, 1982 ; Lopez et al., 1983 ; Atkinson et Nuss, 1989 ; Atkinson et Carnegie, 1989). Nos récents travaux vont également dans le même sens; ils ont permis de montrer par exemple que l'azote et la silice mobilisable par la plante sont des facteurs influençant fortement les infestations de *E. saccharina* (Way et al., 2003 ; Kvedaras et al., 2007 ; Goebel et al., 2005).

Sur la base d'enquêtes et d'expérimentations de terrain conduites d'abord à la Réunion (1997-2000) puis en Afrique du Sud (2002-2004), cet article donne une synthèse des principaux résultats et enseignements sur la gestion intégrée des lépidoptères foreurs, en mettant en exergue l'importance des facteurs agronomiques et écologiques dans la régulation naturelle des populations de ces bioagresseurs.

DES ENQUETES DANS LES EXPLOITATIONS DE CANNE A SUCRE POUR ABORDER LA DIVERSITE DES FACTEURS INFLUENÇANT LES INFESTATIONS DES FOREURS (AFRIQUE DU SUD).

C'est au travers d'enquêtes dans les bassins canniers d'Afrique du Sud que nous avons pris conscience de l'impact des pratiques culturelles sur les attaques de foreurs, en comparant notamment les résultats des secteurs «exploitations rurales/petits planteurs » et « grandes fermes commerciales/gros planteurs). Ces 2 types d'exploitations caractérisent le paysage cannier et comportent des différences très marquées, que ce soit en terme de paysage (mosaïque chez les petits planteurs, monoculture dans les grandes fermes) de taille (1 à 5 ha chez les petits, plus de 50 chez les grands), de pratiques culturelles (généralement moins intensifiées) et de productivité (plus faible rendement chez les petits planteurs). Les enquêtes réalisées dans ces deux types de secteurs ont aussi été motivées par les travaux précédents sur la relation infestation/pratiques culturelles, notamment ceux remarquables d'Atkinson et Nuss (1989). Ces enquêtes ont concernées l'ensemble des régions cannières pour 3 types d'exploitations (les domaines d'usines, peu nombreux en Afrique du Sud; les fermes commerciales au nombre de 2000 et les petits planteurs totalisant 50000 exploitations). La situation d'infestation est très contrastée entre les petits planteurs et les fermes commerciales (Figure 1). Plusieurs explications ont été avancées et nous allons voir qu'elles sont liées aux techniques culturelles et à un milieu agro-écologique très différent.

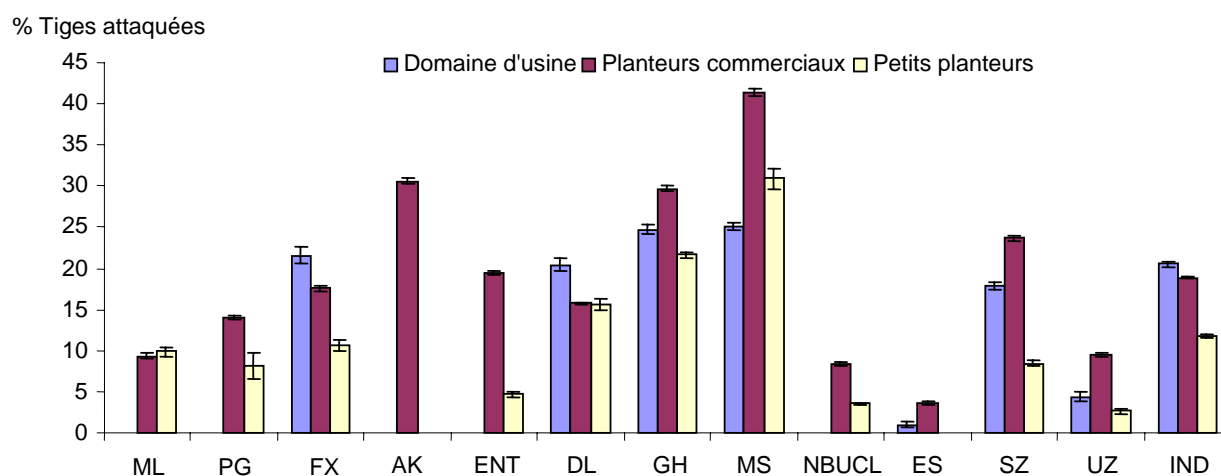


Figure 1 : Niveau d'infestation par type de planteurs et par site dans les bassins canniers d'Afrique du Sud (enquêtes réalisées de 2001 à 2003). Les barres d'erreurs représentent l'Erreur Standard (ES). ML =Malelane; PG =Pongola; FX =Felixton, AK =Amatikulu; ENT =Entumeni ; DL =Darnall; GL =Glendale; GH =Gledhow; MS =Maidstone; NBUCL=Noodsberg; ES =Eston, , SZ =Sezela, UZ= Umzimkulu ; IND = résultat pour l'ensemble de l'industrie sucrière (toutes régions confondues).

LE ROLE DE L'AZOTE DANS LES INFESTATIONS D' *E. SACCHARINA* (AFRIQUE DU SUD)

La relation entre l'azote et les attaques d'*E. saccharina* a déjà été mise en évidence en Afrique du Sud par Atkinson et Nuss (1989). En Amérique du Sud (Cuba), les travaux conduits par Lopez et al. (1983) sur *Diatraea saccharalis* (Fabricius) ont également montré qu'une application d'azote au dessus de 100 kg/ha provoquait une augmentation brusque des attaques du foreur. Cet auteur indique que les attaques sont encore plus fortes lorsque l'application se fait en début de croissance des cannes, les foreurs ayant alors accès aux entre-nœuds tendres. Ce constat a également été fait à travers nos enquêtes en Afrique du sud (2002 et 2003), dans deux zones cannières au nord (Felixton) et au sud (Sezela) de Durban.

On a mis ainsi en évidence que les exploitations les plus touchées par le foreur sont celles qui reçoivent les quantités d'azote les plus importantes. Quelle que soit la région, on constate un écart significatif de 50 kg/ha entre les deux types d'exploitation, avec 134 kg/ha en moyenne pour les fermes commerciales contre 81 pour les petites exploitations (Goebel et al., 2005). Par ailleurs, l'étude de régression linéaire sur l'ensemble des données d'enquêtes (n= 400) ont montré une corrélation positive entre les doses d'azote utilisée et le % de tiges attaquées ($R^2 = 0,31$; $F = 186,53$, $P < 0,0001$). Le tableau ci-dessous (tableau 1) donne les résultats d'une analyse de variance faite sur l'infestation en fonctions des classes d'azote (ces classes ont été constituées afin de réduire la variabilité observée sur les échantillons). Ces résultats montrent bien qu'au-delà de la classe 4 (101-125 kg d'azote par hectare), le nombre de tiges attaquées augmente significativement, ce qui renforce aussi l'hypothèse d'un seuil « dose d'azote » au dessus duquel

les attaques du foreur s'intensifient. On notera ici que l'azote est un facteur de développement connu et nécessaire pour le développement de la larve et peut expliquer pourquoi les larves se concentrent sur des plants « plus riches » en azote.

Tableau 1 : Niveau d'infestation et doses d'azote par catégories dans les zones de Sezela and Felixton (Goebel et al., 2005).

Classes	Doses d'azote (kg/ha)	% Tiges attaquées (moy. \pm SE*)
1	0-50	7,3 \pm 1,7 b
2	51-75	11,3 \pm 1,7 b
3	76-100	8,7 \pm 0,9 b
4	101-125	14,6 \pm 2,2 b
5	126-150	23,9 \pm 1,9 a
6	> 150	26,1 \pm 5,2 a
CV%		78,4
F		2,3
P		0,0444

Les moyennes pondérées suivies de la même lettre (a, b, c...) ne sont pas significativement différentes ($P < 0.05$, test de Student-Newmans-Keuls, proc GLM, SAS Institute, 1999).

* SE = erreur type

Ces observations doivent bien sûr être complétées par une analyse plus fine de la relation entre l'azote présent dans la plante et le comportement du foreur. Sur le terrain, les « extension officers » du South African Sugarcane Research Institute (SASRI) souhaitent déjà revoir les doses recommandées (aujourd'hui 130 kg/ha) et interpeller la profession sur l'emploi excessif d'azote dans certaines fermes commerciales.

LA SILICE COMME BARRIERE AUX ASSAULTS DES LARVES D'*E. SACCHARINA* (AFRIQUE DU SUD).

Il est prouvé que la silice peut accroître la résistance des plantes aux attaques de certains insectes (Salim et Saxena, 1992) et plus particulièrement les foreurs (Djain et Pathak, 1967 ; Wang, 2005) dont *E. saccharina* (Keeping et Meyer, 2002). En Afrique du Sud, environ 60% des sols situés dans la région cannière du Kwazulu-Natal sont sableux et acides et sont typiquement déficient en silice mobilisable par la plante (Meyer et al., 1998). A cette déficience s'ajoute parfois un manque d'eau, qui aggrave les infestations du foreur. Les récentes recherches conduites au SASRI (2004-2006) en conditions contrôlées (expérimentations en serre et au laboratoire) ont abouti aux résultats suivants : l'apport de silice réduit de manière significative les dégâts, toutes variétés confondues, avec ou sans stress hydrique. Sur les variétés sensibles et en condition de stress hydrique, les dégâts atteignent même des niveaux très faibles, équivalents à

ceux mesurés chez les variétés résistantes quelles que soient les conditions hydriques (Kvedaras et al., 2007).

On estime aujourd'hui que l'action de la silice sur les variétés sensibles éviterait la perte de 20 %, voire 30 % du rendement en sucre, sans compter les pertes en biomasse dues à l'insecte. Ce rôle actif de la silice soluble dans l'amélioration du système de défense de la plante pourrait s'expliquer, en cas de stress hydrique, par des modifications de la concentration et de la structure de la silice dans les tissus de la plante. Ces modifications entraîneraient une efficacité accrue de l'effet de barrière à la pénétration des larves, sans que la dureté des tissus ne soit modifiée. Selon une autre hypothèse, la silice pourrait renforcer l'expression des défenses naturelles de la plante, qu'elles soient chimiques ou physiologiques. Ces mécanismes de défense restent à élucider. Les expérimentations à venir, notamment dans le cadre d'une collaboration avec l'université du Kwazulu Natal, en Afrique du Sud, vont permettre d'étudier le rôle de la silice au sein même de la plante. L'objectif est de localiser les dépôts de silice dans la tige qui interviennent dans le mécanisme de barrière et de déterminer la nature de cette barrière. Ces résultats laissent espérer à terme l'utilisation généralisée de la silice dans le cadre de la lutte agrobiologique contre le foreur. Des amendements en silicate de calcium pourraient permettre de mieux contrôler le ravageur en plein champ, y compris avec des variétés sensibles.

L'AGE DE LA CANNE ET LA PRATIQUE DU CARRY-OVER (AFRIQUE DU SUD)

Les enquêtes en Afrique du Sud ont fait ressortir d'autres facteurs prépondérants dans le développement des infestations d'*E. saccharina* tels que le « carry over cane », pratique culturelle répandue chez les fermes commerciales qui cherchent à faire « du sucre » en prolongeant les cycles de 13 à 18 mois (voire plus dans certains cas). Cette pratique, très utilisée dans la région cannière au sud de Durban tant à se généraliser aujourd'hui. L'influence de l'âge de la canne (et le carry-over) sur les infestations s'illustre parfaitement dans les régions de Darnall, Amatikulu et Entumeni (Figure 2). Dans ces régions, le % de tiges attaquées (variable TA) augmente significativement avec l'âge de la canne (variable MOIS), avec une intensification des dégâts après 12 mois à Amatikulu (modèle linéaire $y = ax + b$: % TA = 3,48 MOIS + 0,94 ; $r^2 = 0,91$) et Entumeni (% TA = 1,57 MOIS + 3,54 ; $r^2 = 0,98$) (Goebel et al., 2005). La situation à Amatikulu est particulière car le niveau d'infestation, déjà plus fort dans des champs âgés de 7-8 mois (au dessus de 20% qui correspond au seuil d'alerte en Afrique du Sud) a engendré une brusque montée des dégâts après 12 mois pour atteindre plus 50% de plants infestés à 16 mois. Cette situation particulière est due à une recrudescence des populations d'*E. saccharina* dans les champs dont les dégâts s'ajoutent à ceux de la génération précédente. Ces résultats sont en phase avec les études précédentes (Paxton, 1982 ; Atkinson et Carnegie, 1989). L'impact du « carry over » sur les infestations est sous estimé à l'heure actuelle et la situation pourrait s'aggraver dans les années à venir. On a aussi confirmé, par le biais des enquêtes, que cette pratique est réalisée principalement dans les grandes fermes commerciales par comparaison aux petits planteurs qui respectent, dans la plupart des cas, la récolte à 12 mois.

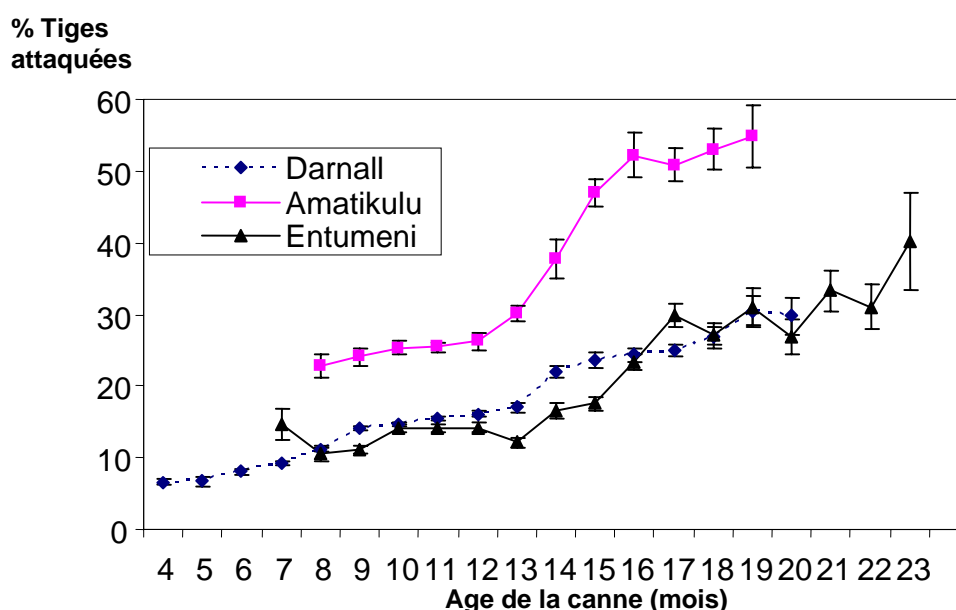


Figure 2 : Incidence de l'âge de la canne sur le niveau d'infestation.
Les barres d'erreurs représentent l'Erreur Standard (ES).

LE CHOIX VARIETAL ET L'IMPORTANCE DES PRECONISATIONS (AFRIQUE DU SUD ET REUNION)

Le choix de variétés de canne à sucre résistantes ou tolérantes aux attaques d'insectes est une option toujours considérée dans la lutte contre les foreurs. En Louisiane, le développement méthodique de variétés tolérantes voire résistantes à *Diatraea saccharalis* (NCO310, CP52-68 ou encore L62-96) ont permis de réduire d'une manière significative les infestations et de ce fait les traitements insecticides (Hensley et al., 1977). En ce qui concerne, *E. saccharina* et *C. sacchariphagus*, des variétés résistantes et sensibles ont été identifiées sur la base d'essais en station, d'enquêtes et d'études en laboratoire (Goebel et al., 2000 ; Keeping et Rutherford, 2004). A la Réunion, l'ensemble des résultats convergent pour souligner l'importance du choix variétale pour éviter des infestations importantes. Par exemple, la variété R579 aujourd'hui très répandue dans les bassins canniers de la Réunion, affichent des niveaux d'entre-nœuds attaqués record (30% dans les situations les plus critiques), alors que la variété R570, qui a longtemps dominée le paysage variétal dans les années 90, montre une grande capacité de résistance. Les expérimentations en condition d'infestation artificielle menées sur la station CIRAD de la Bretagne en 1998 ont confirmé que la variété R570 a un niveau d'entre-nœuds attaqués significativement plus bas que la variété R579, et que cette résistance semble être en premier lieu mécanique (Goebel et al., 2000). En effet, la jeune larve a un taux d'échec de pénétration dans la tige bien supérieur à la variété R579, et si elle réussit à rentrer dans la tige, les dégâts internes restent faibles (mesure de la taille des galeries) comparé à cette même variété. Cependant, si la résistance de la variété R570 peut permettre de gérer le problème « foreur », son rendement potentiel en tonnes de canne (et de sucre) reste nettement inférieur à celui de la variété R579, d'où son désintérêt actuel auprès des planteurs.

En Afrique du Sud, l'analyse d'une base de données constituée par le SASRI à partir d'enquêtes réalisées dans 15 régions cannières, a fait ressortir des différences significatives sur le niveau de dégâts des variétés utilisées et cela dans les régions les plus touchées (Goebel et al., 2005). Une analyse en composantes principales a permis d'identifier 3 groupes distincts selon le niveau de tiges attaquées par *E. saccharina* (Figure 3); un groupe de variétés sensibles (dans l'ordre décroissant : N26, NCo376, N17 et N16), un groupe de variétés modérément attaquées ou à résistance intermédiaire (N27, N12, N29, N19, N14, N25 et N23), et un dernier groupe « variétés résistantes » représenté par la variété N21 et qui comporte un faible niveau d'infestation. Ces résultats sont comparables à ceux obtenus dans les tests de classement variétal du SASRI, à l'exception de la variété N14 notée comme très sensible au foreur par le SASRI.

Les enquêtes ont aussi révélé l'utilisation de variétés moyennement sensibles à sensibles dans les fermes commerciales, ce qui est contraire aux recommandations du SASRI qui prône l'utilisation de variétés résistantes dans les zones à forte infestation.

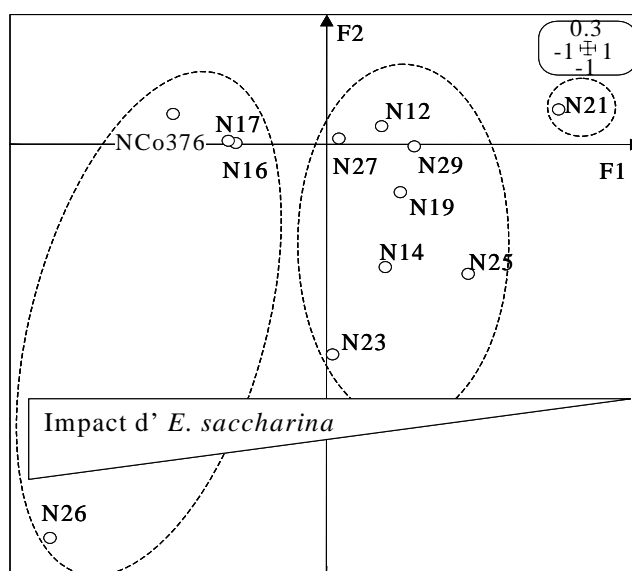


Figure 3 : Sur le plan factoriel F1/F2, les points correspondent aux différents échantillons groupés par variétés ($N > 100$). Seul le centre de gravité des points correspondant à chaque variété est représenté. L'axe 1 décrit un gradient décroissant de l'impact *E. saccharina* (tiges attaquées) des valeurs négatives aux valeurs positives (analyse ACP avec le logiciel ADE-4 du CNRS).

CONSERVER LES PREDATEURS EFFICACES TELS QUE LES FOURMIS, EN EVITANT LE BRULAGE DE LA CANNE (LA REUNION)

En général, la prédation est un facteur de mortalité reconnu sur la plupart des foreurs des graminées, et notamment de la canne à sucre (Teran, 1980; Leslie, 1982 ; Bonhof et al., 1997), mais par rapport aux parasitoïdes, peu de travaux significatifs sont disponibles à l'heure actuelle. Pour juger de l'importance des prédateurs dans les champs de canne à sucre, en particulier fourmis et araignées, il faut se référer aux études approfondies publiées par les américains sur le foreur *Diatraea saccharalis*, qui ont mis en évidence le rôle prépondérant joué par les fourmis

(mais aussi des araignées) dans la réduction des infestations de *D. saccharalis*. Bessin & Reagan (1993) ont fait une revue complète de ces travaux.

Sur base de nos travaux conduits à la Réunion (Goebel et al., 1999), nous avons montré, grâce à des pontes du foreur agrafés sur des plants de canne tout au long du cycle de la canne, l'importance et le rôle des fourmis dans la régulation des populations de *C. sacchariphagus*. L'espèce incriminée dans la prédation est *Pheidole megacephala* (Formicidae, Pheidolae) avec une prédation sur les œufs du foreur qui s'accroît très vite, au fur et à mesure de la croissance de la canne pour se stabiliser à + de 90% après les 6 premiers mois de croissance et jusqu'à la récolte. Le rôle des fourmis a été confirmé par des captures abondantes au champ (piégeage au sol) et par le fait que la prédation des œufs s'arrête totalement sur plants protégés par de la glue disposée sur les tiges de canne (ce qui témoigne aussi de l'action négligeable des prédateurs ailés) (Goebel et al., 1999). La présence des fourmis a aussi eu une forte implication pour la mise en place de la lutte biologique à l'aide de lâchers de trichogrammes, parasites oophages (Goebel et Tabone, 2005). Par exemple, il a été décidé d'arrêter les lâchers après le tallage des cannes (sur des cannes âgées de 4 mois), pour éviter que la prédation prenne le pas sur les trichogrammes (les œufs sont indifféremment détruits par les fourmis qu'ils soient parasités ou non). Fort heureusement, l'application précoce de trichogrammes dans les champs permet d'empêcher les premières pontes du foreur d'éclore, ce qui est l'objectif recherché. Par ailleurs, l'incidence des prédateurs très utiles que sont les fourmis (sous forme de colonies) peut être fortement compromise par le brûlage des cannes, ce qui a pour conséquence la recrudescence des foreurs. Cette hypothèse a souvent été avancée pour expliquer, au moins en partie, l'intensification des attaques d'*E. saccharina* en Afrique du Sud, pays où l'on brûle la canne avant récolte (cela concerne surtout les grandes exploitations). Cet exemple montre en tout cas l'importance de préserver la biodiversité dans les champs de canne qui garantit un équilibre biologique.

LA STRUCTURE DES PAYSAGES PEUT-ELLE EXPLIQUER LES DIFFERENCES D'INFESTATION ENTRE PETITS ET GROS PLANTEURS ? (AFRIQUE DU SUD).

Il est bien connu que la présence de bordures, de bandes forestières ou d'une polyculture entraîne une augmentation de l'abondance et la richesse des espèces prédatrices qui régulent les populations du ravageur (Hunter, 2002 ; Jeanneret et al., 2003). La configuration du paysage qui environne les champs de canne peut donc être un facteur explicatif du faible niveau d'infestation observé chez les petits planteurs. Durant nos enquêtes en Afrique du Sud, l'étude des paysages canniers à l'aide de cartes numérisées (SIG) fournies par les usines de Sezela et Felixton a révélé que dans la région des « petits planteurs », la canne ne compose qu'une partie du paysage, le reste de l'espace étant occupé par d'autres cultures (maraîchage, bananiers, maïs...), des arbustes et une végétation naturelle très diversifiée (haies, bandes enherbées). A ce titre « l'environnement » des petits planteurs, organisé en communautés rurales tel qu'observé à Sezela ou à Felixton, tranche nettement avec celui des fermes commerciales caractérisé par une monoculture sur de grandes étendues de collines. Des relevés faunistiques effectués par Draper et Conlong (2000) à l'aide d'un réseau de piégeage au sol disposé en plein champ, ont permis de noter une différence d'abondance et de richesse d'arthropodes entre les 2 types d'environnement. En particulier, la pauvreté du milieu des grandes exploitations en prédateurs (fourmis, araignées, forficules...) a été avancée pour expliquer le niveau élevé d'infestation d'*E. saccharina*. Ces observations mériteraient en tous cas d'être complétées par un travail plus large de recensement des espèces prédatrices, véritables indicateurs de biodiversité, dans les champs de canne mais également dans

les écosystèmes environnants. Ensuite, il faut nécessairement coupler ce travail à une caractérisation paysagère plus fine des milieux agricoles et naturels par SIG.

Ces recherches doivent permettre l'utilisation ou la gestion des habitats (manipulation de la végétation) pour réintroduire de la biodiversité dans les systèmes agricoles, et donc baisser la pression des bioagresseurs. C'est une voie d'avenir même si l'effet n'est pas immédiat.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES DE RECHERCHE

A travers ces exemples concernant deux ravageurs clés de la canne à sucre, nous avons donné un aperçu de la sensibilité des insectes aux conditions environnementales de la canne à sucre et aux pratiques culturales. La gestion intégrée alliant différents systèmes - régulations biologiques (contrôle biologique, prédation), utilisation de variétés résistantes, gestion raisonnée de la fertilisation, variété des paysages et enrichissement de la biodiversité - permet de réguler les populations de bioagresseurs. L'utilisation des techniques agronomiques et des processus écologiques existant au sein des systèmes supposent au préalable d'identifier les facteurs défavorables au développement des insectes qui font toujours appel à l'observation au champ et à l'expérimentation. Par exemple, nous avons vu que les infestations d'*E.saccharina* dépendent étroitement des pratiques culturales en particulier les apports d'azote, un surdosage provoquant une intensification des infestations. Les phénomènes de résurgence d'attaque d'insectes peuvent donc être liés à une abondance ou une carence d'éléments dans le sol et dans la plante (la silice en est un autre exemple). Plus largement, c'est sans aucun doute une combinaison de facteurs favorables ou défavorables à l'intérieur des systèmes de culture qui permet d'expliquer les variations de populations de bioagresseurs dans l'espace et dans le temps. Cependant, l'identification de ces facteurs peut se révéler complexe.

Alors faut-il continuer à mettre au point des stratégies de lutte traditionnelles (techniques de forçage par l'homme) sans se préoccuper d'abord de ce qui peut, dans le système de culture ou dans les pratiques culturales, faire baisser la pression des bioagresseurs? Si une stratégie de lutte classique peut se mettre rapidement en place et régler le problème, souvent d'ailleurs sous la pression des agriculteurs et d'autres acteurs de la profession, en revanche ces solutions prises dans l'urgence peuvent se révéler inefficace et/ou engendrer des effets négatifs sur l'environnement. La gestion agro-écologique qui manipule les mécanismes naturels et pratiques culturales ne peut au contraire apporter une réponse immédiate mais elle peut garantir une protection durable des agro-systèmes contre les bioagresseurs tout en préservant l'environnement. Cette gestion agro-écologique est bien adaptée aux foreurs des tiges et aux systèmes de culture de canne à sucre. Il est donc important de la privilégier dans les stratégies de lutte. Ces recherches qui visent à l'optimisation des mécanismes écologiques pour réguler les bioagresseurs doivent faire interagir agronomes et spécialistes de l'écologie fonctionnelle. Il s'agit d'une nouvelle conception de la protection des cultures.

BIBLIOGRAPHIE

Atkinson, P.R., Carnegie, J.M. (1989). Population dynamics of the sugarcane borer, *Eldana saccharina* Walker (Lepidoptera: Pyralidae) in Natal, South Africa. *Bulletin of Entomological Research*, 79 : 61-80.

- Atkinson, P.R., Nuss, K.J. (1989). Association between host-plant nitrogen and infestations of the sugarcane borer, *Eldana saccharina* Walker (Lepidoptera: Pyralidae). *Bulletin of Entomological Research*, 79 : 489-506
- Bessin, R.T., Reagan, T.E. (1993). Cultivar resistance and arthropod predation of the sugarcane borer (Lepidoptera : Pyralidae) affects incidence of deadhearts in Louisiana sugarcane. *Journal of Economic Entomology* 86 : 929-932.
- Bonhof, M.J., Overholt, W.A., Van Huis, A., Polaszek, A. (1997). Natural enemies of cereal stemborers in East Africa. *Insect Science and its Application*, 17 : 19-35.
- Conlong, D.E. (1994). A review and perspectives for the biological control of the African stalk borer *Eldana saccharina* Walker (Lepidoptera : Pyralidae). *Agriculture, Ecosystems and environment*, 48 : 9-17.
- Djainin, A., Pathak, M.D. (1967). Role of silica in resistance to Asiatic rice borer, *Chilo suppressalis* Walker, in rice varieties. *Journal of Economic Entomology*, 60 : 347-351.
- Draper, C., Conlong, D.E. (2000). *Eldana saccharina* and arthropod predator populations in sugarcane fields of rural and commercial growers. *Proceedings of the South Africa Sugarcane Technologists Association*, 74 : 228.
- Goebel, R., Fernandez, E., Alauzet, C. (1999). Dégâts et pertes de rendement sur la canne a sucre dus au foreur *Chilo sacchariphagus* (Bojer) à l'île de la Réunion. *Annales de la Société Entomologique de France*, 35 : 476-481.
- Goebel, R., Fernandez, E., Begue, L.J., Alauzet, C. (1999). Prédation par *Pheidole megacephala* (Fabricius) (Hym. : Formicidae) des oeufs de *Chilo sacchariphagus* (Bojer) (Lep. : Pyralidae), foreur de la canne à sucre à l'île de la Réunion. *Annales de la Société Entomologique de France*, 35 : 440-442.
- Goebel, R., Fernandez, E., Begue, J.M., Tibere, R., Alauzet, C. (2000). Predation and varietal resistance as important components of integrated protection of the sugarcane stemborer *Chilo sacchariphagus* Bojer (Lepidoptera: Pyralidae) in Réunion. In: *Sugarcane pest management in the new millennium*. ISSCT Entomology workshop : 51-59.
- Goebel, F.R., Way, M.J. (2003). Investigation of the impact of *Eldana saccharina* (Lepidoptera: Pyralidae) on sugarcane yield in field trials in Zululand. *Proceedings of the South Africa Sugarcane Technologists Association*, 77 : 256-265.
- Goebel, R., Tabone, E. (2005). Un nouveau développement de la lutte biologique contre le foreur de la canne à sucre. *INRA mensuel*, 122 : 12-15.
- Goebel, R., Way, M.J., Gossard, C. (2005). The status of *Eldana saccharina* (Lepidoptera: Pyralidae) in the South African sugar industry based on regular survey data. *Proceedings of the South Africa Sugarcane Technologists Association*, 79 : 337-346.

Hensley, S.D., Fanguy, H.P., Giamalva, M.J. (1977). The role of varietal resistance in control of the sugarcane borer, *Diatraea saccharalis* (F.) in Louisiana. *Proceedings of the International Society of Sugar Cane Technologists*, 16 : 517-522.

Hunter, M.D. (2002). Landscape structure, habitat fragmentation, and the ecology of insects. *Agricultural and Forest Entomology*, 4: 159-166.

Jeanneret, P., Shupbach B., Luka, H. (2003). Quantifying the impact of landscape and habitat features on biodiversity in cultivated landscapes. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 98 : 311-320.

Keeping, M. (1995). Coping with pests in the South African Sugar Industry. *Proceedings of the South Africa Sugarcane Technologists Association*, 69 : 217-218.

Keeping, M.G., Meyer, J.H.. (2002). Calcium silicate enhances resistance of sugarcane to the African stalk borer *Eldana saccharina* Walker (Lepidoptera: Pyralidae). *Agricultural and Forest Entomology*, 4 : 265-274.

Keeping, M.G., Rutherford, R.S. (2004). Resistance mechanisms of South African sugarcane to the African stalk borer *Eldana saccharina* (Lepidoptera: Pyralidae): A review. *Proceedings of the South Africa Sugarcane Technologists Association*, 78 : 307-311.

Kvedaras, O.L., Keeping, M.G., Goebel, F.R., Byrne, M. (2007). Water stress augments silicon-mediated resistance of susceptible sugarcane cultivars synergy in resistance of sugarcane cultivars to the Salk Borer, *Eldana saccharina* Walker (Lepidoptera: Pyralidae). *Bulletin of Entomological Research*, 97: 175-183.

Leslie, G.W. (1982). A study of the egg predators of *Eldana saccharina* Walker (Lepidoptera : Pyralidae). *Proceedings of the South Africa Sugarcane Technologists Association*, 56 : 85-87.

Lopez, E., Fernandez, C., Lopez, O. (1983). Effect of nitrogen fertilization on *Diatraea saccharalis* (Fabr.) incidence on sugarcane. *Proceedings of the International Society of Sugar Cane Technologists* 18 : 910-914.

Meyer, J.H., Harding, R., Rampersad, A.L., Wood, R.A. (1998). Monitoring long term soil fertility trends in the South African sugar industry using the FAS analytical database. *Proceedings of the South Africa Sugarcane Technologists Association*, 72 : 61-68.

Paxton, R.H. (1982). Eldana borer (*Eldana saccharina*): the results of surveys. *Proceedings of the South Africa Sugarcane Technologists Association*, 56 : 99-103.

Salim, M., Saxena, R.C. (1992). Iron, silica, and aluminum stresses and varietal resistance in rice: Effects on whitebacked planthopper. *Crop Science*, 32 : 212-219.

Teran, F.O. (1980). Natural control of *Diatraea saccharalis* (Fabr. 1794) eggs in sugarcane fields of Sao Paulo. *Proceedings of the International Society of Sugar Cane Technologists*, 17 : 1704-1714.

Wang, M.Q. (2005). Effect of complete silicon fertilizer on rice yield. *Acta Agriculturae Shanghai* 21 : 71-73.

Way, M.J., Goebel, F.R., Gillespie, W. (2003). Surveying *Eldana saccharina* (Lepidoptera: Pyralidae) in a small-scale grower sector of the South African sugarcane industry. *Proceedings of the South African Sugar Technologists Association*, 77 : 275-277