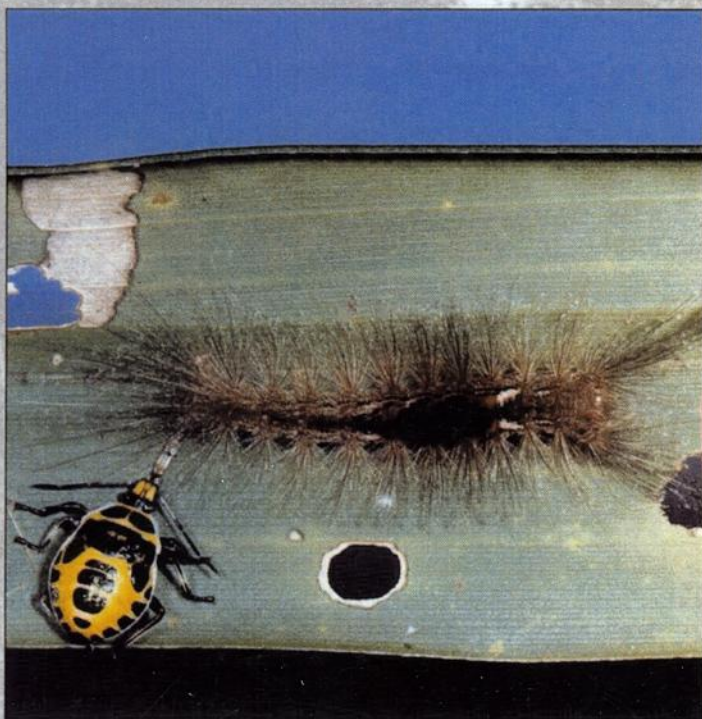


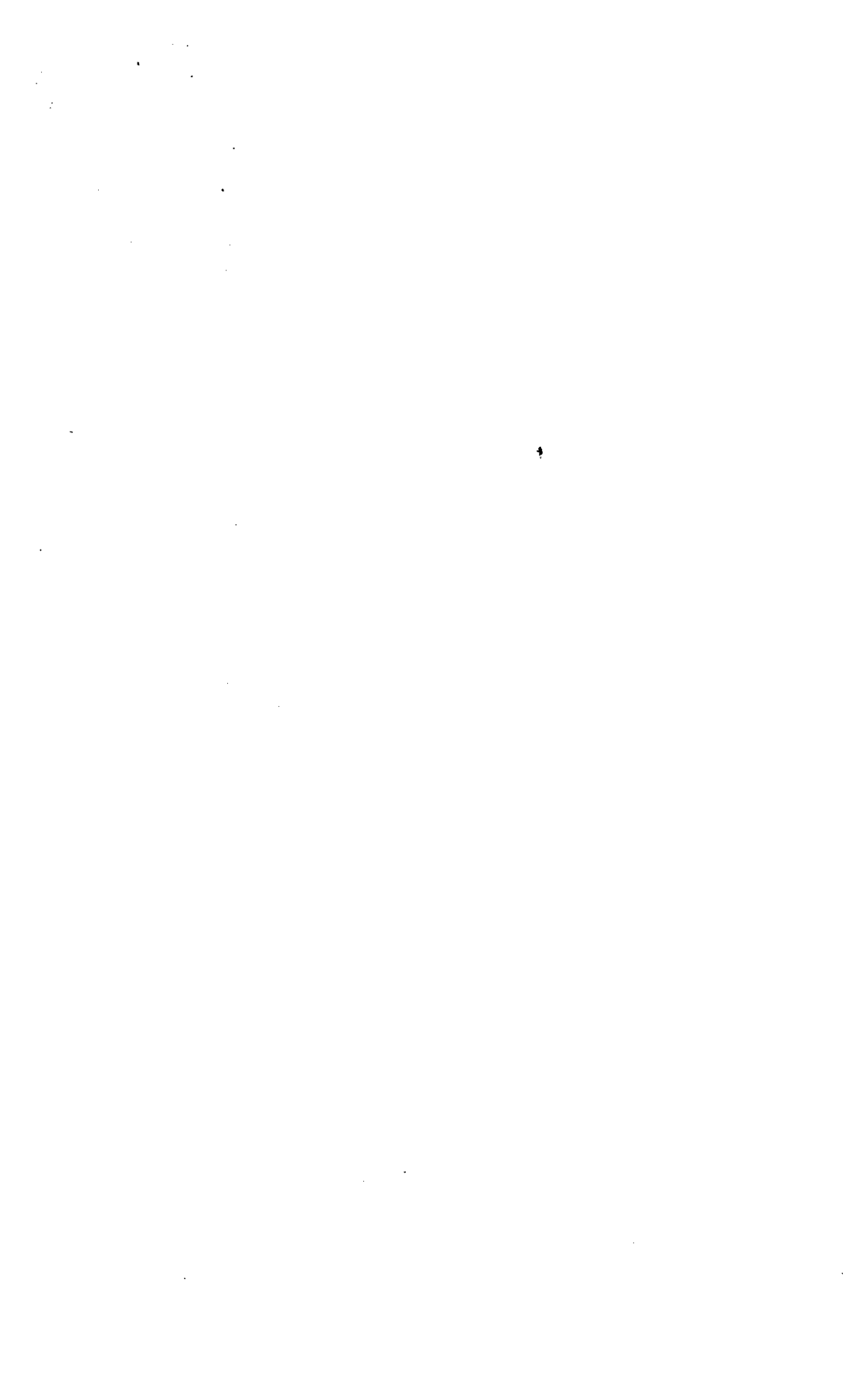
■ REPÈRES

Lutte intégrée contre les ravageurs des cultures pérennes tropicales

Dominique Mariau, éditeur scientifique



CIRAD





Lutte intégrée contre les ravageurs des cultures pérennes tropicales

Dominique Mariau
Editeur scientifique

© CIRAD 1996

ISSN 1251-7224
ISBN 2-87614-253-8

Sommaire

- 5 Préface
- 7 Avant-propos
- 9 Abstract
- 11 Introduction
Dominique Mariau
- 21 Lutte chimique raisonnée
René Philippe, Dominique Mariau, Bernard Decazy, Serge Quilici,
Jean Nguyen-Ban
- 63 Insecticides à action biologique
Michel Arbonnier, René Philippe
- 73 Insectes utiles
Dominique Mariau, Bernard Decazy, Serge Quilici, Jean Nguyen-Ban

113	Organismes entomopathogènes René Philippe, Dominique Mariau
133	Techniques culturales Dominique Mariau, Bernard Mallet
145	Méthodes de piégeage Jean-Paul Morin, Dominique Mariau, Serge Quilici
165	Matériel végétal tolérant Dominique Mariau, Bernard Decazy, Jean Nguyen-Ban
183	Conclusion générale Dominique Mariau
185	Glossaire
189	Liste des sigles
191	Index

Préface

Il n'est pas si fréquent de disposer d'une synthèse des résultats obtenus par un organisme de recherche, après plus de trente années d'efforts consacrés, en l'occurrence, à la défense des cultures tropicales pérennes contre leurs ravageurs. Le département des cultures pérennes du Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (Cirad) en a eu l'heureuse initiative.

Cette synthèse est une illustration quasiment parfaite de l'application concrète, au bénéfice des pays en voie de développement, de concepts élaborés dans les pays développés à partir des années 60. A cette époque, une stratégie nouvelle, dénommée « révolution verte », a été mise en oeuvre pour répondre aux besoins alimentaires de l'humanité. Plus discrètement, le concept d'intégration des techniques agronomiques visait à définir des itinéraires satisfaisant les impératifs de la production, tant en quantité qu'en qualité, avec le souci, encore timide, d'éviter la pollution des chaînes trophiques de la biosphère. L'apparition de phénomènes de résistance aux pesticides et les conséquences de ses effets secondaires amplifièrent le phénomène.

Dans le domaine de la protection des cultures, les succès de la lutte contre les nuisibles à l'aide de produits toxiques issus de la chimie industrielle de synthèse ont induit, par réaction, un intérêt renouvelé pour les procédés de lutte biologique, qui avaient connu leur heure de gloire à la fin du siècle dernier. Au-delà des affrontements passionnés entre partisans des deux camps, la raison l'emporta bientôt en reconnaissant les limites des solutions préconisées et en suscitant l'élaboration d'une nouvelle stratégie phytosanitaire, dite de lutte intégrée. Celle-ci propose un ensemble de méthodes satisfaisant à la fois aux exigences économiques, écologiques et toxicologiques. Elle réserve la priorité à la mise en oeuvre délibérée des éléments naturels de limitation, essentiellement représentés par des organismes utiles, dits auxiliaires. Elle respecte les seuils de tolérance, valeurs critiques au delà desquelles l'abondance des organismes nuisibles provoque des pertes de récolte supérieures au coût d'une intervention préventive.

La mise en oeuvre de ce concept de lutte intégrée s'est heurtée à des difficultés considérables, aussi bien scientifiques, techniques, économiques que psychologiques. Aujourd'hui encore, en dépit de sa reconnaissance aussi bien par l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), l'Organisation mondiale de la santé (OMS) et la Communauté économique européenne (CEE) à l'initiative de l'Organisation internationale de lutte biologique (OILB), il est souvent détourné de sa priorité première, pourtant implicitement contenue dans la notion de développement durable.

Les entomologistes du Cirad ont su afficher et garder cette priorité donnée aux éléments naturels de limitation ; cette stratégie est d'une importance significative puisque, dans ce contexte particulier des cultures pérennes tropicales, elle

s'applique à de nombreuses cultures d'exportation faisant l'objet de plantations sur des surfaces conséquentes : agrumes, cacaoyer, caféier, palmier à huile... A la pérennité de ces cultures s'ajoute donc l'avantage de grandes surfaces cultivées d'un seul tenant, d'un personnel technique averti et de moyens appropriés...qu'il convient de mobiliser et de rentabiliser!

Cet ouvrage illustre avec soin la contribution tout à fait significative de ces coopérants. La connaissance parfaite du terrain, celle non moins précieuse de la faune, de la flore, mais aussi et surtout de la biologie de leurs composantes, les autorise à entreprendre et à suivre des expérimentations en vraie grandeur, qui devraient faire l'objet des convoitises de ceux qui se limitent trop souvent, bien en amont et en conditions de laboratoire, à l'étude exclusive d'un facteur du déterminisme des mécanismes d'interactions entre organismes! Mais plus encore on soulignera leur souci permanent d'introduire l'innovation dans les itinéraires techniques de manière à répondre aux besoins, ce qui implique pour eux la nécessité d'oeuvrer au sein de réseaux de natures complémentaires.

Le fossé qui s'est ainsi insidieusement creusé, au cours des quinze dernières années, entre chercheurs de terrain et de laboratoire, conduit à s'interroger sur la nécessité de redéfinir les bases d'une coopération agronomique efficace entre pays du Nord et pays du Sud, qui soumette les plus récentes hypothèses de laboratoire à l'épreuve des faits. Plusieurs résultats évoqués dans l'ouvrage illustrent, sur des cas concrets, l'intérêt d'une telle coopération, mais celle-ci paraît aujourd'hui plus difficile à exploiter en raison de la divergence des objectifs affichés par les uns et par les autres. Il est évident, à la lumière des récentes découvertes de la biologie, que cette maîtrise du terrain, de ses populations, peuplements et biocénoses, devrait être à l'origine d'un courant d'information et de collaboration en sens inverse, vers les laboratoires disposant de nouvelles possibilités d'investigation. Cette connaissance intime des problèmes de terrain n'est-elle pourtant pas en train de se perdre avec l'affectation croissante des jeunes chercheurs dans des bases arrières? Des structures et des conditions de travail rénovées sont sans doute à concevoir, rapprochant les uns et les autres, au sein d'actions communes, tout en préservant la spécificité de chacun.

Je souhaite vivement qu'un futur bilan d'activité du Cirad nous donne, avec des arguments aussi déterminants que ceux présentés ci-après, l'heureuse démonstration du bien-fondé de cette nécessaire et féconde évolution, de façon à répondre aux nouveaux enjeux planétaires qui sont affichés aujourd'hui par la « révolution doublement verte » et le concept de développement durable.

Pierre Ferron

Directeur de recherches à l'INRA

Avant-propos

Depuis plus de trente ans, les entomologistes des anciens instituts de recherche spécialisés, regroupés depuis 1985 au sein du Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (Cirad), oeuvrent à la recherche des méthodes de lutte les plus appropriées contre les nombreux ravageurs qui s'attaquent aux plantes pérennes tropicales.

Ecologistes de métier, ils n'ont pas attendu les actions de sensibilisation récentes auprès du grand public pour s'efforcer de mettre au point, chaque fois que cela était possible, des stratégies de lutte qui tiennent compte des différents facteurs de l'environnement. Une telle démarche est déjà importante dans le cas des cultures annuelles, mais elle l'est encore davantage avec les cultures pérennes, plantées pour durer des dizaines d'années au sein d'écosystèmes souvent complexes et fragiles.

Toutes ces recherches ont permis d'obtenir de nombreux résultats, le plus souvent publiés. Il nous est apparu intéressant de réunir les plus significatifs d'entre eux au sein d'un ouvrage traitant de toutes les cultures pérennes tropicales et de l'agroforesterie. Il n'est cependant pas question de faire ici une revue exhaustive de la bibliographie, même de celle des seuls travaux du Cirad, mais, pour chacun des chapitres, d'exposer les recherches entreprises et les principaux résultats obtenus essentiellement dans le domaine de la lutte contre les insectes, avec des données sur quelques acariens et nématodes.

Une telle synthèse nous a semblé utile pour les chercheurs eux-mêmes et leurs successeurs afin de leur permettre de faire un état de leurs connaissances et de les inciter à poursuivre le travail de mise au point de méthodes de lutte toujours plus respectueuses de l'environnement.

Cet ouvrage est également destiné aux enseignants et étudiants afin qu'ils y trouvent, à partir d'exemples concrets, matière à réflexion. Ce travail a aussi et surtout été rédigé pour les utilisateurs afin qu'ils puissent mieux apprécier l'importance de la recherche dans ce domaine et en appliquer les résultats.

Il nous est agréable de remercier Pierre Ferron, directeur de recherches à l'Inra, et Maurice Vaissayre, responsable de l'unité de recherches d'entomologie appliquée au Cirad-CA, pour avoir accepté de relire notre manuscrit qu'ils ont corrigé avec délicatesse et efficacité. Nicole Pons a assuré le travail éditorial et Clémence Joly la mise en page, l'une et l'autre avec beaucoup de compétence ; qu'elles en soient également remerciées.

Enfin, Catherine Fenouillet a apporté son concours à la réalisation des graphiques et Delly Miette a assuré la saisie de la plus grande partie de l'ouvrage. Nous leurs en sommes reconnaissants.

Les auteurs

Abstract

Lutte intégrée contre les ravageurs des cultures pérennes tropicales (Integrated pest management in tropical tree crops) sets out to summarize thirty years of research by specialists from the CIRAD (Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement) tree crops, fruit crops and forestry departments. It reveals that major results have been obtained in more rational use of chemical pesticides, but that in many cases the action of such pesticides can be completed or even replaced by different techniques or biological agents.

This work examines the use of commercially available biological products, or pesticides more effectively targeted at a given pest, the decisive role of useful insects, along with procedures to be implemented to respect the action and promote the introduction of the most effective parasitoids and predators. It describes the often major impact of entomopathogenic organisms in regulating populations and the possibilities offered by their use as a mean of biological control, the use of cultural techniques that work against pests or, on the other hand, the suppression of methods that encourage them. It reveals the importance of olfactory and visual stimuli in insect behaviour and the use that can be made of them, either as a direct control method, or to improve knowledge about population size and dynamics. Lastly, it touches upon the use of more tolerant planting material which, along with the progress made in plant breeding techniques and enhanced knowledge of the genome, is an area with substantial prospects.

Researchers also need to strive at all times to ensure their methods are effectively applied by farmers, with two aims in mind: more effective crop protection, frequently at lower cost, to meet the needs of an ever increasing population, and less pollution, which is the greatest obstacle to spectacular development of the chemical pesticides industry.

Introduction

Dominique Mariau

Importance des cultures pérennes tropicales

Depuis une trentaine d'années, plusieurs cultures pérennes, parmi lesquelles, entre autres, le palmier à huile, le cacaoyer et le caféier, ont pris un essor souvent spectaculaire et jouent un rôle de plus en plus important dans l'économie des pays du Sud.

Contrairement aux cultures vivrières, qui sont d'abord plantées pour assurer tout ou partie de l'autosuffisance alimentaire des pays, la production des plantations de cultures pérennes et des ensembles agroforestiers est principalement orientée vers l'exportation afin d'apporter à ces pays de précieuses devises pour l'importation des produits manufacturés. C'est ainsi que les productions d'huile de palme de la Malaisie et de l'Indonésie dépassent très largement les besoins de ces deux pays. De même, le café et le cacao sont peu consommés en Côte d'Ivoire, où les exportations de ces deux produits jouent un rôle capital dans la balance commerciale.

Le palmier à huile

Les surfaces plantées en palmiers à huile ont été, de 1961 à 1993, multipliées par près de huit en Malaisie et dix en Indonésie avec une production qui

dépasse, en 1995, les 12 millions de tonnes d'huile. L'Indonésie continue de planter de 200 000 à 300 000 hectares par an. Cette production d'huile représente pour la Malaisie plus de 45 % de ses recettes d'exportations agricoles (tableau 1). La culture et l'industrie qui utilisent l'huile de palme doivent faire vivre dans cette sous-région plusieurs millions de personnes.

A côté de ces deux géants, la production des autres pays semble modeste mais le palmier à huile est cependant devenu une culture importante pour plusieurs d'entre eux. En Afrique, c'est le cas par exemple de la Côte d'Ivoire, dont la production a approché 300 000 tonnes en 1994, et en Amérique celui de la Colombie, principal producteur, avec 380 000 tonnes. Dans ces deux pays, les surfaces plantées par les petites et moyennes entreprises sont plus importantes que celles des grandes plantations industrielles.

Tableau 1. Evolution des surfaces et de la production de quelques cultures pérennes.

	Surface (1 000 ha)		Production (1 000 t)		Recettes d'exportations agricoles (%)
	1961	1993	1961	1993	1990
■ Huile de palme					
Malaisie	277	2 096	128	7 222	46
Indonésie	106	1 060	148	3 860	16
■ Café					
Colombie	800	1 000	450	1 080	48
Ouganda	245	290	94	170	62
Kenya	58	154	30	77	27
Costa Rica	64	104	62	149	19
Vietnam	nd	nd	0	180	nd
■ Cacao					
Côte d'Ivoire	500	1500	81	830	41

Source : FAO (données communiquées par B. DAVIRON)

Le caféier

Avec près de 6 millions de tonnes produites pendant la campagne 1993-1994, le café joue également un rôle très important dans l'économie de très nombreux pays, notamment en Amérique où la production se situe entre 3,5 et 4 millions de tonnes. La seule Colombie, avec 1 million d'hectares, produit un peu plus de 1 million de tonnes, ce qui représente une forte augmentation des rendements qui étaient moitié moindres au début des années 60. Cette production représente près de 50 % des recettes d'exportations agricoles. Le café fait vivre en Colombie 200 000 caféiculteurs environ. Au Costa Rica, la production a été multipliée par 2,5 au cours des trente dernières années. En Afrique,

où la production est maintenant inférieure à 1 million de tonnes, le café continue à jouer un rôle important dans l'économie de nombreux pays, en particulier en Afrique de l'Est, région d'origine du caféier Arabica. En Ouganda, où les surfaces plantées ont peu évolué au cours des trente dernières années, le café représente plus de 60 % des recettes d'exportations agricoles et 50 % des recettes totales. Le Kenya a vu une forte augmentation des surfaces plantées. Cependant, dans ces pays d'Afrique de l'Est, les rendements qui s'élèvent à environ 500 kg par hectare sont plus de deux fois moins importants que ceux que l'on observe, en moyenne, en Amérique. Enfin, en Asie la culture du caféier s'est considérablement développée au cours des dernières décennies : cela est en particulier le cas en Indonésie ; quant au Vietnam, il est devenu un nouveau producteur. La production globale de la zone asiatique dépasse maintenant celle de l'Afrique, avec 1 million de tonnes.

Le cacaoyer

La production de cacao a plus que doublé au cours des trente dernières années avec cependant une stagnation entre les années 60 et 80. L'Afrique reste le principal fournisseur de cacao avec la Côte d'Ivoire, principal producteur mondial, dont la production oscille entre 800 000 et 900 000 tonnes, ce qui représente environ 35 % de la production totale. Avec 1,5 million d'hectares, la surface a été multipliée par trois et la production par dix en raison aussi d'un accroissement sensible des rendements qui, bien qu'encore modestes, sont maintenant de l'ordre de 500 kg par hectare.

Le cacao représente 40 % des exportations agricoles de la Côte d'Ivoire et plus de 20 % des exportations totales. La vente du cacao compte pour beaucoup dans le revenu d'environ 700 000 cacaoculteurs. Le Ghana voisin qui, au début des années 60, était de loin le premier producteur mondial avec près de 600 000 tonnes, a vu sa production chuter à moins du tiers de cette valeur. Depuis plusieurs années, on y constate une reprise très ferme de la production. On a observé un développement rapide du cacao en Asie, qui fournit maintenant environ 20 % du marché. Cependant, on note un sensible ralentissement de cette progression. Les problèmes sanitaires ne sont pas étrangers à cette situation.

Les agrumes

Ces arbres représentent une richesse importante pour de nombreux pays du Sud, parmi lesquels les pays méditerranéens. C'est ainsi que le Maroc, avec 78 000 hectares d'agrumes, produit environ 1 million de tonnes de fruits, ce qui ne représente qu'un peu plus de 1 % de la production mondiale, mais correspond, avec 1,3 milliard de dirhams, à plus de 20 % des exportations alimentaires du pays.

Les plantations forestières et agroforestières

Le domaine forestier tropical est souvent considéré comme une réserve de terres. La pression démographique augmente les besoins en terres cultivables, et les surfaces occupées par les forêts naturelles diminuent de plus en plus rapidement : la forêt tropicale occupait 1 910,4 millions d'hectares en 1980 et 1 756,3 millions d'hectares en 1990. La déforestation atteint ainsi le rythme moyen de 15,4 millions d'hectares par an. Les superficies de plantations forestières, estimées à 11,5 millions d'hectares en 1980, ont été multipliées par trois entre 1980 et 1990 mais n'atteignent qu'un rythme moyen de 2,6 millions d'hectares par an (source FAO, 1993).

Dans les pays du Sud, les plantations forestières sont souvent réalisées avec du matériel végétal sauvage (essences locales) ou peu sélectionné (essences exotiques) plus robuste et plus résistant aux attaques d'insectes que le matériel sélectionné et cloné depuis de nombreuses années.

Peu d'interventions phytosanitaires sont faites dans les plantations forestières, essentiellement pour des raisons économiques liées :

- au faible prix des produits récoltés par rapport à d'autres spéculations agricoles ;
- au fait que les produits forestiers sont récoltés à relativement long terme (jusqu'à 60-80 ans) ;
- à la dimension des arbres à traiter qui nécessite le recours à des techniques de traitement spécifiques et coûteuses (quantité de produit, traitement aérien, ...)
- au coût d'un tel traitement auquel s'ajoutent les coûts de gestion des plantations (plantation, entretien, éclaircies, coupe et débardage). L'ensemble de ces coûts est souvent supérieur au revenu tiré de la vente des produits récoltés.

Les problèmes sanitaires

Leur importance

Toutes les cultures sont, à des degrés divers, victimes de maladies ou la proie de très nombreux ravageurs parmi lesquels les insectes jouent un rôle primordial. La protection des cultures, avant et après la récolte, a toujours été un des soucis majeurs de l'agriculteur.

Celui qui a vu un essaim du criquet pèlerin *Schistocerca gregaria*, pouvant être formé par quelques dizaines de milliards d'individus à raison de 50 millions d'ailés par kilomètre carré et pouvant parcourir plusieurs milliers de kilomètres en quelques jours (Cirad-Prifas), n'est pas près d'oublier le pouvoir dévastateur

de ces insectes capables d'engloutir en un jour 80 000 tonnes de végétaux (SIRIEZ, 1979). Le rôle que peuvent jouer les insectes dans la destruction de la production humaine n'est fort heureusement pas toujours aussi spectaculaire. On estime, cependant, que 30 à 50 % de cette production est détruite, avant ou après la récolte, par les antagonistes biotiques : maladies, mauvaises herbes, insectes et autres animaux. Les seules pertes dues aux insectes ont été évaluées à 30 % pour le riz, ce qui représente plus de 300 millions de tonnes, à 5 % pour le blé, équivalent à 150 millions de tonnes, soit trois fois la production française (FERRON, 1993), ou encore à 13 % pour le maïs (AHRENS *et al.*, 1983).

Les cultures pérennes tropicales sont très inégalement affectées par les ravageurs. Si le cacaoyer compte de nombreux déprédateurs pouvant avoir une grande importance économique, l'hévéa au contraire, s'il est sensible à un grand nombre de maladies foliaires et racinaires, ne compte que très peu d'ennemis parmi les insectes. Pour les cultures pérennes tropicales, on ne dispose pas de données globales, même approximatives, concernant l'incidence des insectes ravageurs sur la production. Il est, cependant, suffisant de voir une cacaoyère en Afrique dans laquelle la lutte contre les mirides a été abandonnée pour mesurer l'importance de ces insectes. Non seulement la production y est très faible, mais bon nombre de cacaoyers finissent par mourir des attaques répétées des punaises. Il suffit de savoir aussi qu'une plantation de palmiers à huile fortement défoliés peut voir sa production chuter de 30 % pendant deux années consécutives. En effet, rapidement après la défoliation, on observe une réduction du poids moyen des régimes et un avortement des inflorescences femelles, futurs régimes, en cours de formation. A plus long terme, la perte de production se traduit par une masculinisation anormale des inflorescences, dix-huit mois avant la récolte, ce qui est une réaction du palmier en situation défavorable. Enfin, le scolyte du caféier peut envahir jusqu'à 80 % des baies, entraînant des pertes importantes et une forte dépréciation de la qualité de la production.

Les taux impressionnants de pertes que l'on observe, aussi bien sur les cultures des pays tempérés que sur celles des pays tropicaux, sont atteints malgré la mise en oeuvre de moyens considérables, notamment dans le domaine de la lutte chimique.

Les moyens de lutte

Jusqu'à la fin de la Seconde Guerre mondiale, les agriculteurs, en particulier ceux des pays du Nord, étaient très démunis pour lutter contre tous ces ennemis. Le travail, sans compter, d'une main-d'oeuvre encore abondante dans les campagnes à cette époque pouvait apporter certaines solutions. Beaucoup se souviennent encore des campagnes de « hannetonnage », qui permettaient de récolter des quantités impressionnantes d'adultes de cet insecte, et du

ramassage des adultes de doryphore. Cette pratique est encore utilisée, avec des succès variés et souvent difficiles à mesurer, sur certaines cultures des pays du Sud. C'est, par exemple, le cas des caféières où, dans certains pays, on élimine, après la récolte et à des périodes précises, les fruits contenant le scolyte, ennemi numéro un du caféier. De même, les planteurs de cocotiers et de palmiers à huile ramassent dans les bois pourris l'*Oryctes* à ses différents stades pour limiter les attaques de l'adulte sur les jeunes plants.

Jusqu'au début des années 50, les composés organiques de synthèse ou d'origine naturelle étaient alors peu nombreux et, concernant les insecticides, se limitaient à l'utilisation de solutions à base d'arsenic ou de soufre. On faisait appel aussi à des substances d'origine végétale, comme la roténone, le pyrèthre ou la nicotine, dont certaines connaîtront plus tard, à l'ère des composés organiques de synthèse, un regain d'intérêt. Cette révolution dans la lutte contre les insectes débuta avec la mise en évidence par Paul MULLER, en 1938, des propriétés insecticides du DDT. Au cours des années qui suivirent, commença l'explosion des spécialités insecticides qui se traduit, par exemple, aujourd'hui en France par la commercialisation d'environ 1 000 formulations commerciales contenant une ou plusieurs des quelque 700 matières actives autorisées (FERRON, 1993).

Il y a vingt ans, on estimait à 6 000 le nombre de molécules analysées pour aboutir à la commercialisation d'une seule matière active. De nos jours, en raison notamment des niveaux de toxicité de plus en plus sévères qui sont exigés, ce chiffre est infiniment plus élevé ; l'outil informatique aide les spécialistes à faire un tri initial beaucoup plus rapide. Au début des années 60, le marché mondial des pesticides était estimé à 6,5 milliards de francs et vingt-cinq ans plus tard ce chiffre était multiplié par vingt (RIBA et SILVY, 1989).

Il faut bien reconnaître que la synthèse de tous ces pesticides a été un peu pour l'agriculture ce que fut la mise au point des antibiotiques pour la santé humaine. Comparaison peut être osée, mais le DDT a tout de même valu le prix Nobel à Paul MULLER. Cependant, bon nombre de ces pesticides se sont révélés très toxiques à court et moyen termes. De même que certains médecins n'usent pas toujours des antibiotiques à bon escient, l'homme ne fait pas toujours le meilleur usage des pesticides et ne prend pas toujours assez de précautions pour leur emploi et leur fabrication. L'utilisateur est concerné par la présence de résidus dans les végétaux, la contamination des sols et des nappes, la destruction des équilibres, notamment en éliminant les parasitoïdes, et l'apparition de phénomènes de résistance aux pesticides. Les firmes phytosanitaires doivent, pour leur part, directement répondre de catastrophes comme celles de Bhopâl en Inde ou de la pollution du Rhin. Les réactions ne se sont pas faites attendre avec, en particulier, la publication de deux best-sellers : en 1962, l'ouvrage de Rachel CARSON « Printemps silencieux » qui, en raison même de ses outrances, a eu le mérite de sensibiliser l'opinion publique ; en 1969, le livre de Jean DORST « Avant que nature ne meure », était un bel ouvrage, scientifiquement plus mesuré.