

A partir de 1978, une opération de "modernisation" de la culture du café a tenté d'intensifier cette production en remplaçant les plantations traditionnelles par des plantations à plus forte densité et cultivées sans ombrage.

Résistance aux pesticides : l'exemple du scolyte du café en Nouvelle-Calédonie

ORSTOM Fonds Documentaire

N° 40.973 ex 1

Cote : B

La lutte que l'homme livre aux arthropodes a débuté il y a quelques millénaires, avec l'usage du soufre et de l'arsenic. Elle s'est poursuivie plus récemment grâce à divers extraits de plantes (nicotine, roténone, pyrèthre) avant que l'ère industrielle ne permette de produire de nombreuses molécules de synthèse. Depuis la mise en évidence des propriétés insecticides du DDT, en 1939, des centaines de molécules actives ont été synthétisées dans le monde. Quelques milliers d'espèces d'arthropodes, qui détruisent jusqu'à 50% de certaines récoltes en milieu tropical, sont visées. Après un demi-siècle d'utilisation massive des insecticides la plupart des populations d'arthropodes soumises à ces produits, à l'origine très sensibles aux molécules développées par l'agrochimie, sont devenues résistantes. En 1987, l'IRCC, puis l'Orstom, étaient sollicités par les services de développement agricole du territoire de la Nouvelle-Calédonie pour rechercher une explication satisfaisante aux pullulations malgré traitement du principal ravageur des cerises de café, le Coléoptère Scolytidae *Hypothenemus hampei*. Il s'agit d'un exemple typique de programme de recherche associant des travaux fondamentaux et appliqués.*



Les perforations du scolyte dans les grains de café occasionnent des pertes tant qualitatives que quantitatives, les échantillons trop attaqués sont déclassés, perdant de leur valeur commerciale.

.....

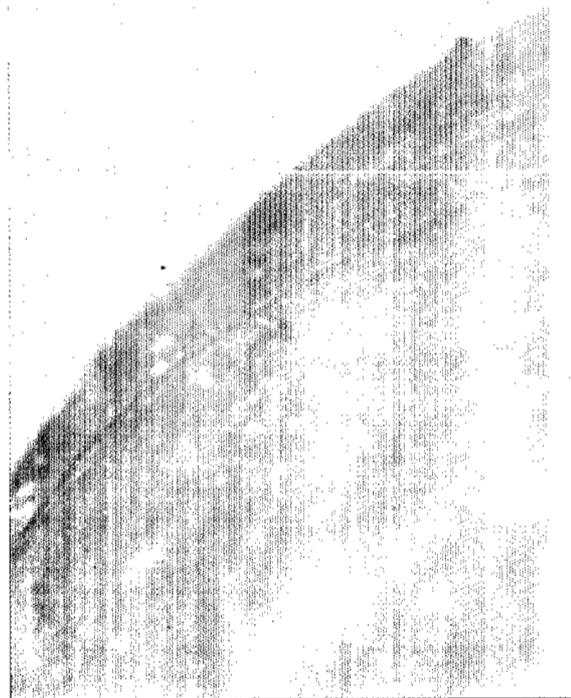
Les insectes et acariens ont révélé une grande capacité à contourner les effets toxiques des insecticides destinés à les combattre. Les premiers cas signalés de résistance concernaient plusieurs espèces de cochenilles en Californie, vers 1915; la liste des ravageurs devenus résistants à l'un ou l'autre des produits insecticides n'a cessé de s'allonger, dépassant cinq cents cas aujourd'hui.

Ces populations ont évolué à la suite de traitements répétés d'un même produit toxique ou de produits ayant un mode d'action semblable. Pour la population de ravageurs qui y est soumise, ceci se traduit par une pression de sélection constante qui favorise les caractères de résistance. Les individus tolérants survivent préférentiellement aux traitements, ce qui permet à leur descendance d'occuper une place proportionnellement de plus en plus importante au fil des générations.

SENSIBILITÉ ET RÉSISTANCE AUX INSECTICIDES

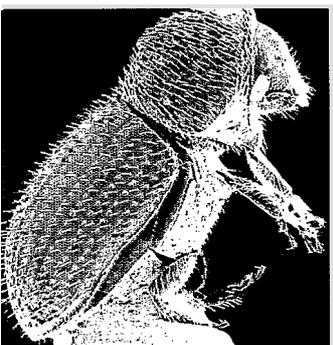
Les insecticides agissent parce qu'ils inhibent certaines fonctions vitales ou "cibles" chez l'insecte. Un toxique doit traverser la cuticule* de l'insecte, puis cheminer à travers l'organisme avant d'atteindre sa cible. Toute modification des processus qui interviennent dans la pénétration, la détoxification, la distribution ou l'interaction entre un toxique et son site d'action dans l'individu, peut contribuer à l'évolution vers la résistance.

La diminution de la pénétration des insecticides ou l'augmentation de l'excrétion aboutissent généralement à des taux de résistance faibles. Par contre,



les modifications qui apparaissent au niveau de la cible (le plus souvent en relation directe avec le fonctionnement du système nerveux) se traduisent par des résistances parfois considérables. Les insectes porteurs des gènes de résistance peuvent survivre à des doses d'insecticide de quelques centaines à quelques milliers de fois plus élevées que celles nécessaires pour tuer les individus sensibles. Il faut également noter que plusieurs gènes différents peuvent induire une résistance et que leurs effets dans le même organisme peuvent se combiner. Dans les populations qui n'ont jamais été soumises à un produit toxique particulier, les individus sont dits "sensibles", car une faible quantité de ce produit suffit à les tuer. Dans de telles populations sensibles, il existe cependant des variations d'un individu à l'autre dans la tolérance aux produits utilisés. Les gènes de résistance peuvent être présents chez de très rares individus, mais le fait de posséder un **allèle*** de résistance est souvent défavorable à la survie ou à la reproduction de ces individus, en l'absence de traitement insecticide. Pour ces derniers, il y aurait un "coût biologique" à posséder ce gène de résistance.

Contrairement à ce qui a été prouvé pour d'autres molécules chimiques (chimio-stérilisants), les insecticides ne modifient pas le taux normal de mutation



Femelle de *Hypothenemus hampei*.

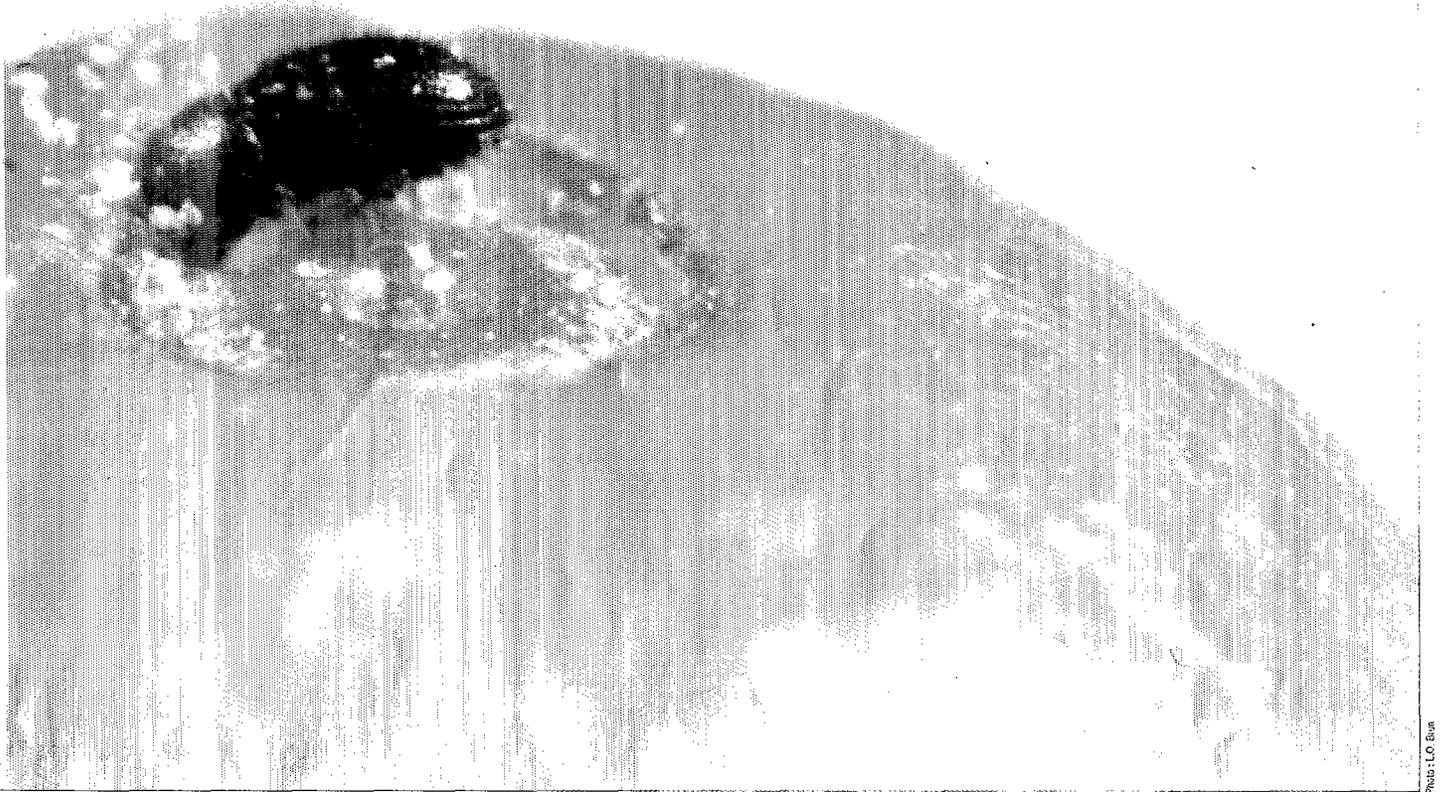


Photo: L.O. Egan

chez les ravageurs traités. Il ne semble pas y avoir acquisition de résistance au cours de la vie de l'insecte, mais préexistence, à une très faible fréquence, du ou des gènes de résistance. Ainsi, la pression répétée d'un facteur sélectif, tel un insecticide ou divers insecticides ayant le même mode d'action, aboutit à une modification de la population d'origine. La rapidité de changement dans l'adaptation d'une telle population dépendra alors de divers facteurs biologiques et écologiques. La connaissance fondamentale des facteurs qui interviennent dans ces processus et une meilleure compréhension de leur importance relative sont essentielles pour la mise en place de stratégies qui visent à retarder au maximum l'acquisition de résistance pour une population-cible donnée. Lorsqu'un nouveau cas de résistance est détecté, il est essentiel de gérer au mieux la stratégie de lutte, de façon à tenter de contrôler le niveau de résistance en deçà d'un seuil économique acceptable.

Le phénomène de résistance prend naissance au niveau de l'individu, mais ce n'est qu'au niveau de la population elle-même que les premières observations peuvent être faites, sur le terrain (perte d'efficacité d'un pesticide), ou au laboratoire (tests de toxicité).

La résistance aux pesticides est bel et bien un changement évolutif dans une population et a été

reconnue comme telle depuis longtemps par les généticiens. De ce fait, ce domaine d'étude revêt non seulement un intérêt pratique et appliqué évident, mais offre également un champ expérimental exceptionnel pour des travaux fondamentaux de génétique des populations.

DÉTECTION ET ÉVALUATION DE LA RÉSISTANCE

Pour mettre en évidence une résistance nouvelle, des tests biologiques sont pratiqués à des concentrations croissantes sur la population testée, de façon à la caractériser et à évaluer les modifications intervenues par rapport à une population n'ayant pas reçu de traitement insecticide (population dite "sensible"). Les tests de laboratoire ont pour but de mettre en évidence un changement dans la réponse d'une population à un toxique. Cette mesure, appelée "facteur de résistance", est le rapport des concentrations de toxique, nécessaires pour provoquer dans les deux populations, résistante et sensible, un même pourcentage de mortalité. Ce facteur est fréquemment évalué à la dose qui tue, respectivement pour les deux souches, 50 % de la population.

(Suite au verso et page 21) ►

La colonisation de nouvelles cerises se fait par les femelles fécondées qui performent préférentiellement les cerises matures. Une quinzaine d'oeufs est déposée au fond d'une galerie creusée par la femelle. De cette descendance émergera un mâle aptère qui fécondera ses soeurs.

Le traitement des plantations à partir des véhicules occasionne une répartition très irrégulière du produit insecticide. Les premiers rangs de caféiers font "écran" aux gouttelettes de produit qui se déposent surtout sur la partie supérieure des arbres.



Photo: DM 5m Aug

Une nouvelle méthode de test et une dose clé qui tue 99,95% des individus sensibles



Photo: S. B. B. B.

La tique, *Boophilus microplus* (visible avec sa ponte) est un ectoparasite du bétail introduit accidentellement d'Australie en Nouvelle-Calédonie. Suite à l'apparition de populations résistantes aux traitements acaricides, les pullulations de cet ectoparasite hématophage ont provoqué la mort de nombreux animaux dans les élevages du Territoire.

Après une étude détaillée de très nombreuses populations de scolyte du café, nous avons déterminé que la combinaison d'une dose de 400 ppm d'endosulfan et de 6 heures de contact permet de séparer les phénotypes résistants des phénotypes sensibles. Cette dose "clé" a été par la suite utilisée dans la plupart des études de dynamique de la résistance qui ont été réalisées.

C'est dans les deux régions les plus productrices en café (Poindimié et Ponérihouen) que les premières souches résistantes ont été identifiées en 1987.

Nous avons démontré que l'endosulfan agissait essentiellement au niveau de sa phase gazeuse, ce qui explique la grande efficacité de ce composé sur les populations de scolytes à l'intérieur des galeries

creusées dans les cerises de café. Cette propriété a été exploitée pour développer une méthode de test originale, proposée à la FAO (Food and Agriculture Organization) et adoptée comme méthode de référence pour la détection de nouvelles résistances chez *Hypothenemus hampei*.

Comparaison et évaluation des méthodes de test :

La comparaison de la méthode de test par utilisation de la tour de Potter et du kit de détection précoce des résistances a été faite selon deux approches complémentaires. Ces deux méthodes de test ont été appliquées simultanément pour :

1) caractériser les souches résistantes et sensibles. Plusieurs centaines de

populations de scolytes ont été soumises à des doses croissantes d'endosulfan afin d'obtenir les droites de régression mortalité/ concentration, qui caractérisent chacune d'entre elles. Ainsi les "Doses Létales" tuant 50% des individus (DL_{50}), ont pu être comparées et les niveaux de résistance des différentes populations, déterminés. Les deux méthodes utilisées ont montré une grande similitude dans la caractérisation des souches étudiées.

2) détecter les populations qui présentent des scolytes résistants, par la seule utilisation de la dose discriminante sur un grand nombre d'individus provenant de nombreuses plantations de toutes les régions productrices de Nouvelle-Calédonie. Nous avons ainsi, avec chacune des méthodes de test, établi

une cartographie comparative de la répartition des populations dites "résistantes" sur 200 populations différentes. La corrélation étroite des résultats obtenus par les deux méthodes confirme la performance du kit de test rapide pour la détection des résistances mis au point à Nouméa.

Par la suite, la toxicité de l'endosulfan pour le scolyte du café a été évaluée selon un gradient de température qui correspond aux variations classiques enregistrées sur le terrain : l'augmentation de la toxicité des vapeurs d'endosulfan est directement liée à l'élévation de la température. Ceci contribue à expliquer la plus grande fréquence des individus résistants dans les champs "plein soleil" par rapport aux champs sous couvert arbustif ou arborescent.

Dans une certaine mesure, ce facteur de résistance est fonction de la technique de test retenue (effet toxique de contact, d'absorption ou d'inhalation) qui favorise l'un ou l'autre des modes d'action.

Les taux ou facteurs de résistance détectés au laboratoire ne sont qu'indicatifs vis-à-vis de la situation sur le terrain. Ainsi, au laboratoire, une faible résistance de la tique du bétail *Boophilus microplus* à l'éthion suffit pour aboutir à un accroissement considérable de la survie des larves, ce qui occasionne très rapidement des problèmes de contrôle importants sur le terrain. A l'inverse, dans le cas du scolyte du café, c'est un taux de résistance de plus de 500 fois qui a été détecté au moment où les problèmes de contrôle des populations sont apparus. L'importance économique de l'émergence d'une résistance nouvelle sera donc fonction de la recrudescence des ravageurs précédemment contrôlés par les traitements insecticides.

Les chercheurs de l'Orstom ont été amenés à étudier le cas du principal ravageur de la cerise du café, le scolyte du café, *Hypothenemus hampei*, dont la pullulation soudaine avait alerté les autorités territoriales de Nouvelle-Calédonie.

LE SCOLYTE DU CAFÉ

Les premiers travaux des chercheurs ont mis en évidence le lien entre pullulation du ravageur et apparition d'un phénomène de résistance aux traitements employés.

Après avoir démontré l'existence de populations de scolytes totalement résistantes à l'endosulfan, grâce à l'utilisation d'un appareil de test de sensibilité appelé "tour de Potter", l'équipe a mis au point une méthode de test simple, originale et peu onéreuse, qui permet la détection rapide des phénotypes résistants. (encadré p12). Cette technique, adoptée comme méthode de référence par la FAO, nous a permis de confirmer que les régions où une chute qualitative du café était constatée correspondaient aux zones où la résistance du scolyte à l'endosulfan était établie.

A partir d'échantillonnages de cerises prélevées sur tout le Territoire, nous avons montré que le nombre des grains de café attaqués avait augmenté de façon constante de 1985 à 1987 dans les régions où la résistance avait été identifiée au début des travaux de recherche. La perte du contrôle chimique des populations s'est donc traduite par une chute tant qualitative que quantitative de la seule production de rente de la côte Est du Territoire, assurée essentiellement par les cultivateurs mélanésiens.

Cette résistance à un cyclodiène* vient allonger la liste déjà longue de cas de résistance à ce groupe chimique (plus de 60% des cas de résistance portent sur les cyclodiènes). Cinq années après sa première identification en Nouvelle-Calédonie, ce cas de résistance, malgré l'utilisation intensive de l'endosulfan dans la lutte contre le scolyte reste le seul exemple

décrit dans le monde. Diverses particularités caractérisent ce cas de résistance et expliquent l'intérêt de son étude approfondie :

- certains aspects de la biologie et de l'écologie du ravageur lui-même (système de reproduction entre apparentés avec un déséquilibre du sex-ratio *),
- la spécificité du type de traitement adopté (traitement unidirectionnel, depuis le bord des routes), qui se traduit par un gradient de pression de sélection ;
- la présence contiguë de parcelles de café "ombragées" et de parcelles "plein soleil", qui occasionne des variations environnementales dont il est intéressant d'étudier les répercussions sur l'évolution des populations ;
- l'historique du traitement, où l'utilisation de l'endosulfan a fait suite à celle du lindane, un composé très proche chimiquement et agissant vraisemblablement sur les mêmes cibles cellulaires ;



Les populations d'"araignées rouges" (*Tetranychus urticae*) de Nouvelle-Calédonie se sont révélées résistantes à plusieurs produits n'ayant jamais été utilisés sur le Territoire.

Resistencia a los insecticidas del insecto de la cereza del café

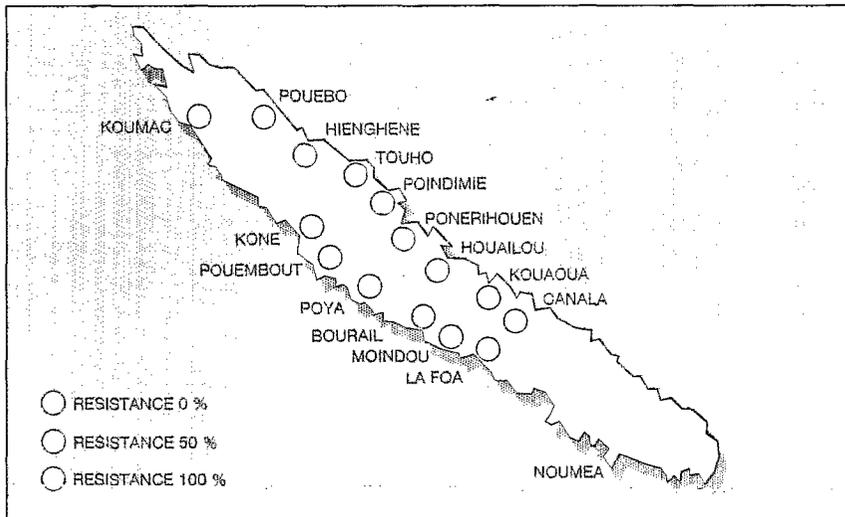
La utilización de insecticidas ha sido en nuestros días el mejor método para el control de plagas de la cereza de café, en el mundo entero y sobre todo en Nueva Caledonia. Si su control no se logra por completo, esta plaga puede llegar a infestar entre uno 90 a un 100 por ciento del terreno que invade. Para ello se utiliza con mucha frecuencia el endosulfano, dado a su impacto relativamente bajo sobre el ambiente. Desafortunadamente, el nuevo desarrollo de cultivos resistentes a altas concentraciones de insecticidas, ha inducido rápidos y crecientes daños en las cosechas de cafetales de pequeños agricultores melanesianos. Paradójicamente, la resistencia a los insecticidas se encontraba comúnmente en las nuevas plantaciones de café con altos rendimientos situadas en regiones muy ensoleadas, más que en las de plantaciones tradicionales cubiertas de arbustos y follaje nativo. Este fenómeno se observa pues la toxicidad del insecticida es más alta a temperaturas elevadas, creando consigo una consecuente y selectiva resistencia a los insecticidas. Otros factores relacionados con la utilización de implementos agrícolas como el arroseado con tractor, han jugado también un papel importante en la aparición de este fenómeno.

La detección de niveles elevados de resistencia al endosulfano en plantaciones de café de Nueva Caledonia, representa una sinigual oportunidad

para el Orstom, las asociaciones agrícolas locales y el SCOCA*, de estudiar este fenómeno en conjunto y poder conocer con antelación el problema de la evolución de la resistencia de insecticidas de algunas plagas. Un estudio de esta envergadura, tomando en cuenta los aspectos tan singulares del agro-ecosistema y la presencia de plagas, representa una gran oportunidad para poder evaluar y seleccionar los factores y/o parámetros responsables de su población genética. Este último reconocido en agricultura y en entomología como un elemento esencial del desarrollo y de la expansión de la resistencia a los insecticidas.

Los estudios de biología evolutiva aplicada, disponen de nuevos elementos gracias a los recientes avances de la biología molecular, permitiendo con ello una visión más cercana de las diferencias del DNA existentes entre cada organismo. En la mayoría de los casos de resistencia a los insecticidas, la amplificación del gene ha demostrado estar involucrado como una de las causas principales. Es necesario que se demuestre, si esta forma de mutación u otras se presentan en el escolito de la cereza del café, aún cuando una homología con *Drosophila* pueda suponer cambios en el GABA (ácido g-aminobutírico) ligado al canal de cloruro.

* Red internacional de científicos trabajando por la lucha integral contra el escolito del café.



Répartition des populations résistantes à l'endosulfan chez le scolyte des grains de café en Nouvelle-Calédonie.

La culture du café est la seule production de rente sur la côte Est de la Nouvelle-Calédonie, à prédominance mélanésienne.

- le niveau extrêmement élevé des taux de résistance observés.

Les études sur les mécanismes moléculaires impliqués et la modélisation de ce phénomène devraient pouvoir servir de référence dans d'autres régions caféières du monde.

RÉSISTANCE CROISÉE : ENDOSULFAN-LINDANE

Le spectre de résistance des scolytes à différents insecticides a été étudié. L'existence d'une résistance croisée totale entre l'endosulfan et divers organochlorés a été démontrée, c'est-à-dire qu'à toute acquisition d'un niveau de résistance à l'endosulfan correspond un niveau de résistance aux produits testés, même en l'absence d'utilisation de ces composés sur le terrain. Ce phénomène est dû à ce qu'un même mécanisme de résistance est impliqué, ces divers produits étant d'une structure chimique proche.

Les travaux de génétique en cours confirment le fait qu'au moins un même mécanisme biochimique est impliqué dans ce nouveau cas de résistance à un cyclodiène. D'après les travaux les plus récents, une modification intervenue au niveau des récepteurs membranaires de l'acide g-aminobutyrique qui sont le site d'action des cyclodiènes, ou une diminution du nombre de ces récepteurs seraient à l'origine de la résistance à ce groupe chimique.

RÉPARTITION SPATIO-TEMPORELLE DE LA RÉSISTANCE DANS LES CHAMPS

Plusieurs sites ont été retenus, sur la côte Est du territoire, de façon à couvrir les principaux types de plantations et les diverses situations environnementales de cette culture. Une étude de la dynamique spatio-temporelle des phénotypes résistants a été conduite sur plusieurs années. Dans un même champ, divers échantillons ont été récoltés selon un transect perpendiculaire à la route d'accès d'où avaient lieu les



traitements insecticides. L'existence d'un cline* dans la distribution des phénotypes résistants a été démontrée dans plusieurs champs. Les niveaux de résistance décroissent au fur et à mesure que l'on s'éloigne du point d'application des insecticides. Au cours d'une même saison de production du café, le niveau de résistance des différentes populations ne varie que très peu, ce qui confirme le faible déplacement des scolytes à cette période de l'année.

L'étude d'un transect pratiqué dans une plantation moderne, de type "plein soleil", encore soumise à deux traitements annuels à l'endosulfan, montre la rapidité d'évolution du phénomène de résistance à l'intérieur d'un même champ. A l'inverse, un champ traditionnel dont les populations sont faiblement "résistantes" et sur lesquelles le traitement à l'endosulfan est supprimé, voit la proportion de phénotypes résistants diminuer. Ainsi peut-on déterminer schématiquement dans les champs des zones proches des lieux de traitement, favorables aux individus résistants et des zones plus éloignées, au-delà de 20 à 30 mètres, plus favorables aux individus sensibles.



Photo : Orstom

Coffee berry borer resistance as an evolutionary phenomenon

Insecticides are the main method of controlling coffee berry borer, in New Caledonia and throughout the world. If uncontrolled, this pest can reach infestations levels of 90-100%. One insecticide in particular (endosulfan) is widely used, due to its relatively low environmental hazard.

Unfortunately, the recent development of very high levels of insecticide resistance has led to a rapid increase in economic damage small farms in New Caledonia where coffee is the main cash crop for Melanesian farmers.

Ironically, insecticide resistance was more common in the newer, on high productivity fields in full sunlight, than in traditional fields with a native forest canopy. This is because insecticide toxicity is greater at the higher temperatures reached in sunny fields, with consequently greater selection for resistance. Other operational factors, such as the use of truck-mounted sprayers spraying from roadsides, have also played an important role.

Detection of high levels of endosulfan resistance in New Caledonia represents a unique opportunity for

agencies and SCOCA*, to study and manage the problem in advance of resistance problems with this pest elsewhere. In addition, unique aspects of the agro-ecosystem and pest problem offer an opportunity to estimate and model key aspects of population genetics, which is widely recognized as being essential to the further development of insecticide resistance management in agricultural and medical entomology.

The study of applied evolutionary biology has new tools available, thanks to recent advances in molecular biology enable which closer inspection of differences in DNA between individual organisms. In more than one case of insecticide resistance, gene amplification has been implicated as the cause. It remains to be shown whether this or other forms of mutation have occurred in the coffee berry borer, although homology with *Drosophila* would suggest changes in the GABA gated chloride channel.

* Réseau international informel de scientifiques travaillant pour développer la lutte intégrée contre le SColyte du Café.

CLINES PROVOQUÉS PAR DES TRAITEMENTS INSECTICIDES DIRECTIONNELS

Du fait des traitements unidirectionnels pratiqués à partir du bord des plantations, il a semblé intéressant d'étudier la répartition des gouttelettes d'insecticide dans les principaux types de champs (culture intensive "ensoleillée", ou traditionnelle, sous ombrage). Ce travail a nécessité l'analyse de milliers d'échantillons de feuilles par une technique fluorimétrique. Quel que soit le type de plantation, les chercheurs ont constaté une très mauvaise répartition de l'insecticide qui se traduit par un surdosage considérable dans les zones proches des routes d'accès.

Une étroite corrélation entre le gradient de distribution de l'insecticide et la mortalité des populations sensibles a été établie. Les chercheurs ont constaté que le facteur "écran" constitué par les premiers rangs de caféiers était extrêmement important : une mortalité plus élevée était constatée dans les échantillons situés à deux mètres de hauteur par rapport à ceux disposés plus bas.

STRATÉGIES DE LUTTE ET RÉGRESSION

Des travaux ont été conduits dans les trois régions les plus touchées par le phénomène de la résistance dans le but d'étudier son évolution, en fonction de différentes stratégies de lutte: maintien de l'usage de l'endosulfan ou remplacement par un organophosphoré, le fénitrothion. Dans la région de Touho, où l'endosulfan a été utilisé de 1988 à 1990, la diminution progressive de la population sensible à ce produit est notable. Le phénomène inverse se produit dans la région de Poindimié, où l'endosulfan a été remplacé par le fénitrothion dès que la résistance a été détectée.

Une étude en cours sur la dispersion des individus résistants vise à établir la modélisation de ce phénomène. Les buts visés par cette approche sont de définir les programmes de traitements insecticides qui peuvent diminuer les risques d'apparition des souches résistantes, les méthodes d'échantillonnages qui offrent la plus grande probabilité de détection des individus résistants et, dans le cas d'une population de scolytes devenue partiellement résistante, de savoir si une réversion du phénomène est possible lorsqu'on supprime les applications insecticides ou on change de produit de traitement.

Par ailleurs, grâce au développement de la biologie moléculaire au centre de Nouméa, les chercheurs sont désormais en mesure d'aborder l'étude génétique des populations du scolyte. Deux approches complémentaires seront poursuivies: celle de la structure génétique des populations, décrite à l'aide de marqueurs moléculaires neutres, et celle de la génétique des gènes de résistance. Des travaux entrepris en collaboration avec R.H. French-Constant (Université

du Wisconsin, USA) doivent rapidement conduire à la mise au point d'une méthode simple de reconnaissance du génotype individuel au locus* principalement impliqué dans la résistance.

Pour la première fois en milieu tropical, les chercheurs espèrent pouvoir ainsi accéder à une connaissance approfondie des mécanismes d'apparition et d'évolution de la résistance dans les populations naturelles d'un insecte ravageur.

P. Borsa et L.O. Brun

Département "Milieux et Activité Agricole"
UR "Parasites et ravageurs en relation
avec la plante et le milieu"

D.M. Suckling

The Horticulture and Food Research Institute Ltd.,
Christchurch, New Zealand

Glossaire

Allèle: gène différent situé au même locus (c'est-à-dire au même endroit sur un chromosome).

Arthropode: animal invertébré (crustacé, myriapode, insecte, arachnide), à squelette externe chitineux, corps annelé et membres (appendices) composés d'articles.

Cyclodiène: pesticides de la famille des composés cycliques polychlorés, éventuellement insaturés; le lindane et l'endosulfan en font partie.

Cuticule: zone superficielle du tégument des arthropodes, rigide et imperméable, contenant de la chitine.

Cline: changement progressif d'une donnée biologique observée le long d'un trajet rectiligne.

Sex-ratio: rapport des fréquences de chacun des sexes dans une population.

Pour en savoir plus

Brun, L.O., Marcillaud, C., Gaudichon, V. & Suckling, D.M., 1989. Endosulfan resistance in Coffee Berry Borer, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae) in New Caledonia. J. Econ. Entomol., 82: 1311-1316.
Brun, L.O., Marcillaud, C., Gaudichon, V. & Suckling, D.M., 1991. Evaluation of a rapid bioassay for diagnosing endosulfan resistance in coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae). Trop. Pest Manage., 37: 221-223.
Brun, L.O. & Suckling, D.M., 1992. Field selection for endosulfan resis-

tance in the coffee berry borer *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae) in New Caledonia. J. Econ. Entomol., 85: 325-334.
Georghiou, G.P. 1986. The magnitude of the resistance problem. pp. 14 - 43 in: "Pesticide resistance: Strategies and tactics for management" National Academy of Sciences, ed. National Academy Press: Washington, D.C.
French-Constant, R.H., Roush R.T. & MacIntyre, R.J. 1990. Isolation, characterization and progress in cloning of Cyclodiene resistance in *Drosophila melanogaster*.

Mol. Insect Sci., 41-48.
French-Constant, R.H., Steichen, J.C., Rocheleau, T.A., Aronstein, K., & Roush, R.T. 1993. A single-amino acid substitution in a aminobutyric acid subtype A receptor locus is associated with cyclodiene insecticide resistance in *Drosophila* populations. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A., 90: 1957-1961.
Parkin, C.S., Brun, L.O., & Suckling, D.M., 1992. Spray deposition in relation to endosulfan resistance in the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) (Coleoptera: Scolytidae) in New Caledonia. Crop Protec-

tion, 11: 213-220.
Roush, R. T., 1989. Designing resistance management programs: how can you choose? Pestic. Sci., 26: 423-441.
Roush, R. T. & Daly, J., 1990. The role of population genetics in resistance research and management. in "Pesticide Resistance in Arthropods." Roush, R.T. and Tabashnik, B.E., eds. Chapman and Hall, New York.
Roush, R. T. & McKenzie, J.A., 1987. Ecological genetics of insecticide and acaricide resistance. Ann. Rev. Entomol., 32: 361-380.

La coupe d'un grain de café laisse apparaître les différents stades qui constituent la première génération de scolyte: oeuf, larve et nymphe. Un dimorphisme sexuel important permet de distinguer aisément les nymphes femelles (grande taille) des nymphes mâles.

ORSTOM

A C T U A L I T É S

ENJEUX AMAZONIENS
PIÈGES À TSE-TSE
EN CENTRAFRIQUE
RÉSISTANCE AUX
PESTICIDES EN
NOUVELLE-CALÉDONIE
SPOT
ET LA CROISSANCE
URBAINE

N° 42

1994 - 30 F

L'INSTITUT
FRANÇAIS
DE RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

ORSTOM Fonds Documentaire

N° : 40.972 à 40.975 ex 1

Cote : B