

## **PARTIE IV**

### **Nouveaux acaricides et perspectives.**

### **Présentation de la lutte biologique et alternative**



# 20

## **L'utilisation des produits naturels dans la lutte contre les insectes : problèmes et perspectives**

B.J.R PHILOGENE

*Faculté des Sciences, Université d'Ottawa, Ottawa, Canada K1N6N5*

### **Introduction**

Il nous faut remonter très loin dans l'histoire pour comprendre les raisons qui ont conduit l'humanité à se doter d'un arsenal de produits chimiques pour tenter d'assurer à l'ensemble des populations une quantité adéquate de nourriture et pour combattre un grand nombre de maladies transmises par des Arthropodes. Tant que les populations étaient isolées et nomades, il était relativement facile de s'alimenter ou de choisir des sites plutôt salubres. Mais lorsque les êtres humains sont devenus sédentaires et ont commencé à sélectionner les plantes les plus nutritives, et à domestiquer les animaux, un changement profond s'est opéré dans les écosystèmes.

L'apparition de l'agriculture, l'urbanisation, les mouvements de population ont donc contribué à créer un certain nombre de problèmes et à en accentuer d'autres. A la sédentarisation et l'augmentation substantielle de la population humaine il faut ajouter, au cours des siècles, le manque d'imagination, de décision, de compréhension de l'espèce humaine devant les transformations profondes et souvent irréversibles qu'elle faisait subir à l'environnement.

Voici 12 000 ans, l'homme commençait à cultiver, c'est-à-dire à créer des agro-écosystèmes, ces environnements simplifiés où se répètent la même variété de plante, rangée après rangée. Cette concentration de la même espèce, de la même variété, rend facile le travail des insectes phytophages, et accroît considérablement leur potentiel reproducteur. A ces attaques par les insectes il faut ajouter la contamination par les pathogènes et l'envahissement des mauvaises herbes. Les manipulations génétiques du XX<sup>e</sup> siècle sont venues accentuer ce problème comme nous le rappelait récemment Pimentel [1].

Que faire devant cette prolifération d'organismes nuisibles, et en particulier d'insectes phytophages s'attaquant aux ressources nécessaires au bien-être de l'humanité? Il y a, en fait, trois solutions:

1) ne rien faire, laisser faire la nature comme disent certains, et être prêts à modifier de façon drastique notre mode de vie et faire face éventuellement à des conditions de famine et d'épidémies qui sont tout simplement inacceptables;

2) procéder à une extermination radicale de tous les organismes que nous considérons comme nuisibles. Cette solution extrême ferait un tort considérable à notre environnement et bouleverserait encore davantage les fragiles relations qui existent entre les êtres vivants;

3) entreprendre un programme de lutte bien pensée qui prend d'abord en considération les équilibres biotiques et abiotiques.

On fera donc appel à tous les moyens disponibles et on verra à préserver tous les éléments essentiels de notre environnement.

Cette approche prend en considération autant les besoins alimentaires et sanitaires d'une population toujours croissante que la préservation d'un environnement que nous avons hérité de nos ancêtres et que nous devons remettre aussi intact que possible à nos descendants.

## La lutte chimique

Avec le développement de la chimie on s'est vite rendu compte qu'il y avait tout un arsenal capable d'éliminer les ennemis naturels de la végétation sans nécessairement - du moins on le pensait - empoisonner les autres composantes de l'environnement. Cette approche a conduit à une élimination spectaculaire, du moins à court terme, des organismes nuisibles, et à une détérioration parallèle, mais pas nécessairement visible de la qualité de l'environnement. Il faut bien le rappeler: le but initial de la lutte chimique est de supprimer, d'exterminer le ravageur, la mauvaise herbe, le pathogène, le parasite.

Au début, on s'est servi de composés relativement simples à base d'arsenic, de soufre, de chaux, de dérivés du pétrole, de substances à base de fluor ou extraites de plantes comme la nicotine. C'est ce qu'on appelle les pesticides de la *première génération*. Ils se caractérisent par leur toxicité relativement élevée pour les organismes non-visés et surtout pour leur rémanence, c'est-à-dire leur lente décomposition dans l'environnement.

Avec la Seconde Guerre mondiale, on assiste à la mise au point d'une *deuxième génération* de pesticides: les composés synthétiques. Les organochlorés, les organophosphorés, les carbamates apparaissent successivement sur le marché et connaissent un certain succès dans la lutte contre les insectes, et bien sûr des Acrididés. Ces substances qui regroupent la plupart des insecticides encore utilisés aujourd'hui ont une action rapide mais peuvent avoir une rémanence tenace, comme dans le cas des organochlorés.

Les années 60 voient un bouleversement dans l'utilisation des pesticides. Une industrie prospère, qui se croit bien assise, va être secouée par les écrits d'une biochimiste américaine, Rachel Carson [2]. Son livre *Le printemps silencieux* a un succès retentissant et force les gouvernements, compagnies et utilisateurs à revoir les conditions dans lesquelles on utilise les pesticides, et le mode d'action de ces derniers. En plus de règlements et de lois plus sévères, on entreprend des études écologiques détaillées qui ont jusque là fait défaut. L'industrie travaille à trouver des produits plus sélectifs, moins rémanents. Les recherches des physiologistes conduisent à la découverte des insecticides de la *troisième*

*génération*, des substances produites par les ravageurs eux-mêmes, soit les hormones des insectes et leurs analogues. Les recherches sur les phéromones, les nouvelles formulations faisant appel à des synergistes et des adjuvants plus performants donnent aussi d'autres moyens de lutte contre les insectes nuisibles.

Malgré ces progrès scientifiques, l'humanité passe graduellement d'une situation où elle se trouvait pratiquement à la merci des phytophages et des vecteurs de maladies, à une situation où l'environnement est largement conditionné par les pesticides et leurs résidus. Ce changement dans les relations de l'espèce humaine avec son environnement est accompagné d'une augmentation spectaculaire du nombre d'espèces devenues résistantes aux produits chimiques disponibles. Ce sont plus de 400 espèces d'arthropodes (Georghiou et Mellon 1983) qui, aujourd'hui, résistent à pratiquement toutes les catégories d'insecticides mises sur le marché. Or tous ces produits ont une caractéristique en commun: ils sont neurotoxiques. Il est donc urgent de se tourner vers d'autres moyens de lutte, et en particulier, de voir quelles sont les substances disponibles dans le monde végétal qui sont en mesure de contrôler efficacement les populations d'insectes nuisibles, et envers lesquelles ces derniers auront de la difficulté à mobiliser leur système de détoxification.

## **Phagorepresseurs, anti-appetants et toxines**

Le règne végétal est soumis à une agression constante par les phytophages depuis des millénaires. Le succès ou l'échec de ces prédateurs est fonction des obstacles physiques et chimiques qui caractérisent les plantes. Une véritable sélection s'est opérée qui a conduit, d'une part, à l'élimination des phytophages incapables de franchir les barrières physiques ou de s'adapter à la présence des composés chimiques qu'ils devaient inévitablement rencontrer dès leurs premiers contacts avec la plante et, d'autre part, à l'existence de végétaux contenant toute une gamme de composés capables d'anéantir le phytophage ou de limiter les dégâts causés par ce dernier. Ceci a conduit à un équilibre dynamique entre plus d'un demi-million d'espèces d'insectes phytophages et de quelques 200 000 espèces végétales.

Nous pouvons donc dire avec Fraenkel [3] que les composés secondaires des plantes (ainsi nommés par Czapek en 1922) ont leur raison d'être. Ils se manifestent par des effets phagorépresseurs, des toxicités de type aiguë ou chronique, ou encore par leur action anti-ponte. Si les insectes phytophages peuvent y survivre c'est avant tout parce qu'ils ont un savoir faire qui leur permet de modifier leur comportement alimentaire ou de métaboliser les composés toxiques ingérés.

Cette capacité que possèdent les plantes de se protéger a été réexaminée en détail depuis le début du siècle [4] en vue d'être exploitée à des fins agronomiques. En fait, on connaissait bien avant cela les propriétés insecticides de métabolites d'origine végétale comme la nicotine, la roténone et le pyrèthre. Ce dernier poursuit du reste une carrière remarquable comme produit phytosanitaire domestique.

L'avènement des insecticides de synthèse avait carrément mis en veilleuse les recherches sur les produits naturels d'origine végétale. Mais les problèmes de résistance et de résidus dont il a été question plus haut ont ravivé l'intérêt des spécialistes anxieux de réduire les dégâts subis par les récoltes. Cette renaissance de l'intérêt pour la capacité des plantes à se défendre a, d'autre part, conduit à l'identification de multiples facteurs chi-

miques ayant un mode d'action particulier et différent de celui des insecticides utilisés jusqu'ici.

La lutte contre les insectes entre donc dans une nouvelle phase puisque cette approche «botanique» fournit des moyens en meilleure harmonie avec l'environnement, moyen provenant des organismes à protéger eux-mêmes. Ces composés naturels et leurs dérivés devraient pouvoir réduire sensiblement les pertes subies par les plantes cultivées et la forêt. Ils devraient aussi servir de base pour la mise au point de nouvelles molécules capables d'anéantir les vecteurs de maladies. Les progrès notoires qui ont été accomplis dans ce domaine depuis le début de la présente décennie sont dus en grande partie à la collaboration étroite des phytotechniciens, des entomologistes, des chimistes et des toxicologues [5]. On peut donc envisager la mise au point d'insecticides plus spécifiques, non toxiques pour les organismes non-visés, biodégradables, et moins susceptibles de provoquer la résistance chez les espèces cibles. Il est aussi possible d'entrevoir, dans le contexte d'un développement soutenu, la production de molécules écologiquement désirables et économiquement adaptées aux pays les moins bien nantis [6].

### Les substances phototoxiques

Organismes essentiellement autotrophes, les plantes font un usage constant de la lumière pour croître et se développer. Certaines espèces ont poussé l'exploitation de l'énergie photonique à l'extrême par l'élaboration, au cours de leur métabolisme, de molécules particulièrement toxiques pour les organismes phytophages: les substances phototoxiques. C'est surtout dans la famille des Astéracées que l'on retrouve toute la gamme des molécules phototoxiques: furanocoumarins, alcaloïdes furanoquinolines, alcaloïdes béta-carbolines, polyacétylènes et leurs dérivés thiophènes, et quinones. Ces composés peuvent avoir des effets létaux directs ou bien ils peuvent retarder le développement larvaire ou encore être ovicides.

C'est au professeur G.H.N Towers et à son équipe (Université de la Colombie Britannique, Canada) que l'on doit les premiers travaux qui mettent en évidence les propriétés phototoxiques des polyacétylènes et de leurs dérivés thiophènes.

Les travaux ont ensuite porté sur une molécule particulière, l'alpha-terthienyl (a-T), un thiophène présent en abondance dans l'oeillet d'Inde (*Tagetes* sp). Ce composé doit son action phototoxique à la production d'oxygène singulet ( $^1O_2$ ) suite à l'activation par la lumière, surtout les rayons UV. Ainsi excitée, la molécule d'a-T peut avoir des effets phagorépresseurs, peut ralentir la croissance des larves ou être carrément mortelle suivant l'espèce d'insecte avec laquelle elle entre en contact.

Ainsi Champagne [7] a démontré qu'il y a réduction sensible de la prise de nourriture par le vert gris moissonneur (*Euxoa messoria*), un lépidoptère polyphage, à des concentrations de 100 ppm. Ceci se traduit rapidement par une croissance ralentie, surtout en présence d'UV. Les larves qui ne sont pas soumises à cette longueur d'onde réussissent à se remettre de cet effet. Par contre, un oligophage comme le ver du tabac (*Manduca sexta*) ne récupère pas aussi facilement suite à ce traitement. Les larves subissent des lésions cuticulaires qui empêchent une mue normale et meurent avant de se métamorphoser. On voit donc qu'il y a une toxicité sélective selon le régime alimentaire de l'insecte, l'oligophage étant moins bien équipé pour faire face à la phototoxine, caractéristique métabolique particulièrement illustrée par Iyengar [8].

L'a-T démontre également ses caractéristiques létales envers les larves de moustiques [9,10]. Il est en effet facile de contrôler une population de larves de moustiques à des concentrations aussi faibles que 10g par ha.

L'efficacité remarquable de cette molécule envers les insectes nuisibles et son manque de toxicité pour les humains et autres organismes non-visés permet d'envisager la mise au point d'un nouveau type d'insecticide. Est-ce à dire que toutes les substances phototoxiques d'origine végétale sont promises au même avenir?

Si la production d'oxygène singulet donne à certaines molécules leurs caractéristiques toxiques, la phototoxicité peut également se manifester d'autres façons. C'est ce qu'on a pu vérifier avec une autre substance présente dans le monde végétal, la berbérine, un alcaloïde isoquinoline. Cette molécule, particulièrement présente dans les plantes du genre *Berberis* est aussi toxique pour les phytophages que pour les larves d'hématophages [11,12,13]. On lui connaît aussi des effets antiappétants. Mais, là où la berbérine se distingue particulièrement de l'a-T, c'est qu'en plus de produire du  $^1\text{O}_2$ , elle s'intercale dans la molécule d'ADN, provoquant des modifications génétiques. Cette caractéristique nous empêche donc d'envisager son utilisation éventuelle comme insecticide, puisqu'elle ferait courir des risques énormes aux organismes non visés.

Ce qu'il faut cependant retenir ici c'est que les insectes phytophages ou les vecteurs de maladies peuvent difficilement neutraliser l'oxygène singulet. Même s'ils mobilisent leurs oxydases à fonction mixte [14], ils ne réussissent pas à subjuguier ce type de substance xénobiotique comme ils le feraient pour un neurotoxique classique. Nous avons donc, avec les substances phototoxiques un mode d'action particulièrement intéressant, et il est sans doute possible de les rendre encore plus performantes avec une formulation appropriée.

### **Une plante remarquable: le margousier**

La présence chez les plantes de composés capables de réduire l'appétit des insectes ou de bloquer leur capacité d'ingestion a déjà joué un rôle significatif dans la mise au point de variétés résistantes [15]. Est-il permis d'envisager des arrosages de telles substances sur les plantes qui n'en possèderaient pas, ou encore de les y inclure par manipulation génétique?

Plusieurs anti-appétants ont été étudiés sans grand résultat, malgré l'utilisation artisanale de bien des plantes tropicales par les populations africaines ou asiatiques pour protéger leurs récoltes. On connaît par exemple, en Afrique l'*Hyptis* et le *Cassia*, utilisés par les petits planteurs pour lutter contre les infestations de Bruchidés [16].

La plante qui a surtout retenu l'attention des spécialistes à cause de ses propriétés anti-appétantes, est le margousier ou neem (*Azadirachta indica*), une Méliacée originaire de l'Asie. Au cours d'une invasion de sauterelles au Soudan, en 1959, on a particulièrement remarqué que cet arbre était la seule plante qui échappait aux attaques de ces ravageurs, bien que les acridiens s'y soient posés à plusieurs reprises. Depuis, on a pu établir que le margousier renfermait plusieurs composés dont l'action ne se limitait pas à la phago-répression. Les recherches entreprises dans plusieurs laboratoires en Inde, en Allemagne, aux Philippines, aux Etats-Unis, en Grande-Bretagne et au Canada ont permis de caractériser les principes actifs et leurs effets physiologiques, et d'établir que plus de 125 espèces d'insectes (provenant de sept ordres différents), dont les acridiens sont réfractaires au margousier et à ses molécules [17,18].

Le margousier est un arbre poussant surtout dans les régions semi-arides (250 à 2000 mm de précipitation annuelle) et qui peut atteindre une vingtaine de mètres. Un arbre moyen produit 350 kg de feuilles et 50 kg de fruits. De ces derniers on peut extraire environ 6 kg d'huile. Il a été introduit en Afrique au cours du XIX<sup>e</sup> siècle comme arbre ornemental. La place qu'occupe le margousier dans la vie du sous-continent indien est remarquable. Les habitants lui connaissent tellement de propriétés bénéfiques qu'ils ont une divinité qui y est attachée. Dans le langage courant on parle du margousier comme le «dispensaire du village». C'est qu'en plus de toutes ses propriétés insecticides le neem est largement utilisé à des fins médicales. On utilise cet arbre pour donner de l'ombre, comme brise-vent, comme bois de construction, et pour mieux fixer les sols contre l'érosion.

C'est en 1937 que des scientifiques indiens ont découvert qu'ils pouvaient enrayer une infestation de sauterelles en répandant sur les récoltes un extrait de feuilles de neem [19]. Les recherches subséquentes ont révélé la présence d'un limonoïde, l'azadirachtine, comme étant le principe actif le plus important dans l'activité anti-appétante du margousier. On a en fait identifié 25 composés différents dont 9 ont une action sur la biologie des insectes, et en particulier la saannine et le méliantriol. Il faut cependant attendre 1962 pour qu'une étude détaillée soit entreprise sur le terrain pour démontrer l'efficacité de la plante [20]. A la suite d'un arrosage avec un extrait aqueux de graines de neem, à une concentration de 0,1%, à raison de 300 à 600 litres par ha, on constate que les sauterelles se déposent sur les plantes traitées mais ne s'en nourrissent pas. Cet effet protecteur s'est maintenu 2 à 3 semaines après l'arrosage [21]. Cette expérience établissait la valeur supérieure des graines de neem comme source d'azadirachtine.

La molécule a été isolée en Grande Bretagne au cours des années 70. Depuis on a pu entreprendre des travaux plus ponctuels pour mieux comprendre son mode d'action. Sieber et Rembold [22] ont étudié les effets de l'azadirachtine sur le dernier stade larvaire de *Locusta migratoria*. En plus de l'effet anti-appétant, ils constatent une interférence avec le système endocrinien qui se traduit par des effets morphogénétiques.

L'azadirachtine semble bloquer la synthèse de l'ecdysone. Subséquemment, Rembold [23] rapporte que sept autres tétranortriterpinoïdes ont été isolés des graines de margousier. Il démontre que ces composés sont similaires à l'azadirachtine, intervenant au niveau de la régulation endocrinienne, en particulier celle de l'hormone juvénile et de l'ecdysone.

Sur le plan pratique les composés extraits du margousier ont une structure moléculaire trop complexe pour qu'on puisse envisager leur synthèse pour une production industrielle et une utilisation courante. On devra donc se contenter des formulations existantes qui ont déjà fait leurs preuves, soit des extraits de feuilles, de graines et autres préparations à haute teneur d'azadirachtine. Ceci veut également dire qu'il faudra davantage de plantations de neem, un arbre particulièrement bien adapté à des régions qui souffrent déjà de déforestation.

On trouve déjà sur le marché plusieurs produits phytosanitaires à base de margousier:

1) le Repelin et le Wellgro, utilisés dans l'Inde contre les légionnaires et la mosaïque du tabac ainsi que certains ravageurs du coton;

2) le Nimbasol et le Biosol, sous-produits de l'huile de neem, également utilisés dans l'Inde contre les lépidoptères et les homoptères;

3) le Neemark, une formulation granulaire riche en azadirachtine produite en Inde est utilisée contre les ravageurs du coton, du riz, du tabac, des arachides, de la canne à sucre et de légumes divers;

4) le Margosan-O, produit par Vikwood Ltd, est disponible aux Etats-Unis pour lutter contre les phytophages des plantes ornementales et les cultures non-vivrières.

D'autre part, Saxena [24] rapporte qu'on a mis au point, à l'International Rice Research Institute, une poudre hydrosoluble à partir des amandes de neem, préparation qu'il nomme «bitters».

Toutes les formulations qui précèdent ont le grand avantage de contenir plusieurs principes actifs, ce qui diminue considérablement les risques de développement de la résistance par les insectes visés. Ces derniers doivent mobiliser un plus grand nombre de systèmes de détoxification pour faire face à cette véritable invasion de substances xénobiotiques.

## **Synergistes**

L'efficacité insecticide des métabolites secondaires des plantes est d'abord le résultat de leur nature chimique. Leurs effets nocifs sur les phytophages sont aussi dûs à la présence d'une autre catégorie de métabolites qui eux ne sont pas à prime abord nocifs. Cependant, lorsque ces composés sont associés aux substances toxiques, la toxicité du mélange est supérieure à celle de ces derniers pris séparément. L'industrie chimique fait grand usage de telles molécules, appelées synergistes, pour augmenter l'efficacité des pesticides, surtout dans les cas de tolérance plus élevée aux produits existants. On connaît en particulier l'utilisation du pipéronyl butoxide dans les formulations à base de pyrèthre.

Les composés à action synergique sont présents dans beaucoup de plantes mais leur utilisation n'a guère été exploitée, malgré l'augmentation des cas de résistance aux insecticides classiques. Parmi les synergistes récemment identifiés dans plusieurs espèces de plantes, on trouve le groupe des lignans dont plus de 200 ont été isolés dans pas moins de 146 espèces provenant de 50 familles [25].

Les lignans sont des métabolites secondaires dérivés des phénylpropanes. Le groupe méthylènedioxyphényl qu'ils contiennent est souvent un inhibiteur des enzymes d'oxydation multiples utilisés par l'insecte pour détoxifier les xénobiotiques. On a récemment démontré [26] que trois lignans, la sésamoline, le dillapiol et la diasésartémine sont des inhibiteurs de l'aldrine époxidase. L'identification d'autres substances de ce type et leur utilisation avec des insecticides existants ou d'origine botanique devrait permettre soit une réduction des dosages de pesticides couramment utilisés ou une action encore plus performante de nouvelles molécules dont il a été question plus haut.

## **Effets sur les entomophages**

Dans un contexte de lutte intégrée et d'agriculture écologiquement viable, on ne saurait parler de nouvelles avenues chimiques de lutte contre les ravageurs sans se préoccuper de l'impact de ces métabolites d'origine végétale sur le troisième niveau trophique [27]. Les entomophages sont-ils en mesure de mieux survivre aux insecticides provenant des plantes qu'aux organochlorés, organophosphorés ou aux carbamates classiques.

On doit envisager l'effet des insecticides botaniques sur les entomophages à plusieurs niveaux:

a) localisation de l'hôte: le succès du parasitisme est avant tout relié à la capacité de l'entomophage de trouver son hôte. Les métabolites secondaires des plantes contribuent largement à augmenter ou diminuer les possibilités qu'un insecte soit ou non parasité par un autre hexapode. On a même rapporté que la plante attire parfois le parasitoïde avant

que l'insecte-hôte ne puisse en faire autant. Cette dimension allélochimique de la relation entomophage-phytophage a sans doute déjà contribué à l'échec de certains programmes de lutte biologique. Si l'utilisation des métabolites secondaires se généralise, on devra procéder à une étude systématique de leurs effets sur le comportement des entomophages afin de ne pas modifier négativement leur capacité de localisation de l'hôte.

b) développement: l'information disponible sur les effets des insecticides provenant des plantes sur les entomophages est fragmentaire. A partir des travaux rapportés au cours des quinze dernières années, on peut avancer que le développement des parasitoïdes est, en général, ralenti par la présence de métabolites contribuant à la résistance des plantes envers les phytophages. C'est surtout le développement larvaire qui est allongé.

c) potentiel reproducteur: on n'a pas davantage d'information sur la fertilité et la fécondité des entomophages dans un contexte plante-phytophage-entomophage. Des quelques travaux publiés, il ressort qu'on doit s'attendre à une fécondité réduite, un délai dans la ponte, ou une modification des proportions mâles/femelles.

d) métabolisme: il est généralement admis que les entomophages ont tendance à accumuler dans leurs tissus des substances considérées toxiques pour le phytophage hôte. Par ce moyen, l'organisme arrive à prévenir une intoxication ou un effet délétère, les tissus agissant alors comme véritables reins d'accumulation.

Cependant, en l'absence d'un tel mécanisme, les parasitoïdes peuvent être très susceptibles à la présence de produits végétaux toxiques. La démonstration en a été faite par Campbell et Duffey [26,27] travaillant sur un ichneumonide parasite d'*Heliotis zea*. Ils établissent que l'a-tomatine provoque chez le parasitoïde une toxicose en bloquant l'utilisation des stérols et en provoquant la cytolise. Les ichneumonides qui réussissent à compléter leur développement larvaire se transforment parfois en adultes ayant des malformations des antennes et des structures génitales.

Nous avons d'autre part étudié les effets de la berbérine et de l'a-T sur un endoparasitoïde de la pyrale du maïs [13], et nous avons observé que l'a-T, substance fortement lipophile, pouvait sensiblement réduire la population des entomophages, sans toutefois l'annihiler.

## Conclusion

La lutte chimique continuera d'être un élément important dans la lutte contre les insectes. Il faut cependant que les molécules utilisées à cette fin soient non seulement performantes mais aussi compatibles avec les autres éléments vivants de l'environnement.

En identifiant dans les plantes les métabolites capables d'une action insecticide, on s'assure d'abord que les nouveaux moyens de lutte chimique sont biodégradables. Il est aussi permis d'envisager une action plus sélective qui permettra aux autres aspects de la lutte intégrée, en particulier la lutte biologique, d'intervenir avec le maximum d'efficacité. La nature nous fournit les moyens de nous protéger contre les ravages des insectes. C'est à nous de savoir reconnaître où sont les éléments susceptibles de limiter les dégâts de ces ravageurs, mais également de ne pas créer les conditions qui en favoriseraient la prolifération. Les plantes, source de vie par la photosynthèse, renferment tous les éléments nécessaires à un meilleur équilibre entre l'humanité, les ressources végétales et les organismes phytophages.

## Références

1. Pimentel D, Hunter MS, Lagro JA, Efroymson RA, Landers JC, Mervis FT, McCarthy CA, Boyd AE. (1989). Benefits and risks of genetic engineering in agriculture. *BioScience*; 39: 606-614.
2. Carson R. (1963). *Le printemps silencieux*. Plon Edit, Paris.
3. Fraenkel G S . (1959). The "raison d'être" of secondary plant substances. *Science*;129:1466-1470.
4. Verschaffelt C. (1910). The cause determining the selection of food in some herbivorous insects. *Proc Acad Sci (Amst)*;13: 536-542.
5. Miller JR, Miller TA. (eds). (1986). *Insect-plant interactions*. Springer-Verlag, New-York.
6. Saxena RC. (1988). Neem - a source of natural insecticides. Final workshop of IRRI-ADB-EWC project on botanical pest control in rice-based cropping systems. IRRI, Los Banos, Philippines, 12-16 décembre 1988.
7. Champagne DE, Arnason JT, Philogène BJR, Morand P, Lam J. (1986). Light-mediated allelochemical effects of naturally occurring polyacetylenes and thiophenes from Asteraceae on herbivorous insects. *J Chemical Ecology*; 12: 835-858.
8. Iyengar S. (1988). Toxicokinetics and metabolism of alphaterthienyl in *Manduca sexta*, *Heliothis verescens*, and *Ostrinia nubilalis*. Ph D thesis, university of Ottawa.
9. Philogène BJR, Arnason JT, Berg CW, Duval F, Champagne D, Taylor RG, Leitch LC, Morand P. (1985). Synthesis and evaluation of the naturally occurring phototoxin alpha-terthienyl as a control agent for larvae of *Aedes intrudens*, *Aedes atropalpus* (Diptera: Culicidae) and *Simulium verecundum* (Diptera: Culicidae). *J Econ Entomol*; 78: 121-126.
10. Arnason JT , Philogène BJR, Morand P, Imrie K, Iyengar S, Duval F, Soucy-Breau C, Scaiano JC, Werstiuk NH, Hasspieler B, Downe AER. (1989). Naturally occurring and synthetic thiophenes as photoactivated insecticides. In *Insecticides of plant origin*, JT Arnason, BJR Philogène, P Morand (eds). ACS Symposium; 387: 164-172.
11. Devitt BD, Philogène BJR, Hinks CF. (1980). Effects of veratrine, berberine, nicotine and atropine on developmental characteristics and survival of the dark-sided cutworm, *Euxoa messoria* (Lepidoptera: Noctuidae). *Phytoprotection*; 61: 88-102.
12. Philogène BJR, Arnason JT, Towers GHN, Abramowski Z, Campos F, Champagne D, McLachlan D. (1984). Berberine: a naturally occurring phototoxic alkaloid. *J Chemical Ecology*;10: 115-123.
13. McDougall, Philogène BJR, Arnason JT, Donskov N. (1988). Comparative effects of two plant secondary metabolites on host-parasitoid associations. *J Chemical Ecology*;14: 1239-1252.
14. Iyengar S , Arnason JT , Philogène BJR, Morand P, Werstiuk NH, Timmins G. (1987). Toxicokinetics of the phototoxic allelochemical a-terthienyl in three herbivorous lepidoptera. *Pesticide Biochemistry and Physiology*; 29:1-9.
15. Philogène BJR. (1984). Success and future prospects for host plant resistance in integrated control systems. In: G. Allen and A. Rada (eds.). International symposium: *The role of biological control in pest management*. IOBC/WHRS. pp.42-61.
16. Lambert JDH, Gale J, Arnason JT, Philogène BJR. (1985). Bruchid control with traditionally insecticidal plants *Hyptis spicigera* and *Cassia nigricans*. *Insect Sci Applic*; 6: 167-170.
17. Wharten JD. (1979). *Azadirachta indica*: a source of insect feeding inhibitors and growth regulators. USDA Agric Rev and Manuals, ARM-NE-4.
18. Wharten JD. (1989). Neem (*Azadirachta indica* A. Juss.): organisms affected and reference list update. *Proc Entomol Soc Wash*; 91: 367-388.
19. Hoddy E. (1986). The neem tree. Multi-purpose weapon for a healthier environment. *Development and Cooperation*; 1: 21-23.
20. Pradhan S, Jodtwanji MG, Rai BK. (1962). The neem seed deterrent to locusts. *Indian farming*;12: 7-11.
21. Pradhan S, Jotwani MG. (1968). Neem as an insect deterrent. *Chem Age India*; 19: 756-760.

22. Sieber KP, Rembold H. (1983). The effects of azadirachtin on the endocrine control of moulting in *Locusta migratoria*. *J Insect Physiol*; 29: 523-527.
23. Rembold H. (1989). Azadirachtins. Their structure and mode of action. In *Insecticides of plant origin*. JT Arnason, BJR Philogène, P Morand (eds ) ACS symposium series; 387: 150-163.
24. Saxena RC. (1989). Insecticides from neem. In *Insecticides of plant origin*. JT Arnason, BJR Philogène, P Morand (eds ) ACS symposium series; 387: 110-135.
25. MacRae WD, Towers JHN. (1984). Biological activities of lignans. *Phytochemistry*; 23: 1-12.
26. Bernard CB, Arnason JT, Philogène BJR, Lam J, Waddell T. (1989). Effects of lignans and other secondary metabolites of the Asteraceae on the mono-oxygenase activity of the European corn borer. *Phytochemistry*; 28: 1373-1377.
27. Philogène BJR, Arnason JT. (1990). Effets des substances secondaires des plantes sur les parasitoïdes. (sous presse).
28. Campbell BC, Duffey SS. (1979). Tomatine and parasitic wasps: potential incompatibility of plant antibiosis with biological control. *Science*; 205: 700-702.
29. Campbell BC, Duffey SS. (1989). Alleviating a-tomatine induced toxicity of the parasitoid, *Hyposoter exiquae*, by phytosterols in the diet of the host, *Heliothis zea*. *J Chemical Ecology*; 7: 927-946.

# 21

## Réflexion à propos de la lutte biologique contre les insectes nuisibles

W.A. SMIRNOFF

*Centre de foresterie des Laurentides, Forêts Canada, 1055, du PEPS, Sainte-Foy (Québec), Canada, G1V 4C7*

### Introduction

Ayant choisi de traiter des perspectives d'utilisation des insectes prédateurs et parasites ainsi que des microorganismes entomopathogènes dans la lutte contre les insectes ravageurs des forêts, j'aimerais vous donner mon point de vue personnel sur le sujet plutôt qu'un aperçu de l'état des problèmes, aperçu qui peut être aisément trouvé dans les publications entomologiques.

Je ne m'adresse pas particulièrement aux entomologistes et aux pathologistes, mais plutôt aux forestiers et aux économistes puisque l'utilisation et le succès des méthodes biologiques dans la pratique courante de la protection des forêts dépendent d'une estimation précise des résultats des recherches poursuivies dans ce domaine à la fois passionnant et complexe. Je ne veux pas dire ici que l'interprétation correcte des résultats ne dépend pas en grande partie de nous-mêmes qui effectuons les recherches. Mais je veux dire que pour en arriver à une interprétation précise des résultats, nous devons avant toute chose nous détacher de nos normes expérimentales habituelles telles que cages, tubes, boîtes de pétri ou dimension du champ microscopique, qui sont autant de barrières que nous ne parvenons pas à franchir à cause de notre conception routinière et traditionnelle de la recherche. Cette conception oublie d'ailleurs que ce qui peut être obtenu en laboratoire ou sur de petites parcelles forestières n'est pas toujours reproductible sur de grands territoires. Le plus souvent, d'ailleurs, les résultats en sont fort éloignés.

C'est pourquoi nous devons, nous scientifiques, regarder du haut des airs les immenses étendues forestières avant de porter un jugement sur la validité des résultats de recherche.

Ainsi, il est impératif de préciser clairement les limites dans lesquelles tel prédateur ou parasite ou tel microorganisme entomopathogène peut être utile et de déterminer quelles sont les époques, les conditions et les procédés qui permettront son utilisation avec le maximum d'efficacité, non seulement vis-à-vis de la valeur marchande des essences forestières, mais aussi vis-à-vis de la préservation de la forêt, en tant qu'élément indispensable de l'environnement (fixation du carbone, protection contre l'érosion, régulation du régime des eaux, etc.). Il faut aussi estimer à court et à long terme les limites dans lesquelles le rôle d'un prédateur, d'un parasite ou d'un entomopathogène est utile et rentable, tout en tenant compte du potentiel économique de la prolongation de son action en forêt. Tout ceci est déterminant pour décider des priorités de recherche dans ce domaine et inévitablement pour établir l'utilisation et le partage des budgets afin de pouvoir mettre en place une stratégie visant à l'utilisation des méthodes biologiques en forêt.

Par ailleurs, il faut aussi prendre en considération que si, en agriculture, l'utilisation d'un parasite, d'un prédateur ou d'un microbe entomopathogène peut être très économique et rentable, ce n'est pas similairement vrai en forêt. En agriculture, tout dépend de la marge de bénéfice de la récolte mais, en foresterie, la rentabilité des mesures appliquées n'apparaît qu'après des dizaines d'années.

Selon ces conceptions, j'ai l'intention de voir le problème dans son ensemble et faire le point sur les perspectives réelles de l'action d'un prédateur, d'un parasite ou d'un microorganisme entomopathogène dans la protection des forêts, tout en prenant en considération que les méthodes de lutte chimique, qui sont tellement utilisées encore à date, ne peuvent pas être bénéfiques en général et à long terme en raison des dangers réels de pollution et de déséquilibre qu'elles apportent dans le complexe biologique de la forêt.

Afin d'évaluer objectivement les perspectives d'utilisation des prédateurs, des parasites et des microorganismes entomopathogènes, il me semble qu'il est nécessaire de déterminer les différentes situations écologiques et physiologiques dans lesquelles peuvent se trouver les populations d'insectes forestiers dévastateurs.

### **Première situation : Massifs forestiers dans lesquels les insectes défoliateurs habituels sont à l'état endémique**

Il est évident que durant cette période d'équilibre biologique, le rôle des prédateurs, des parasites et des microorganismes entomopathogènes est extrêmement important puisque le maintien de l'équilibre dépend de l'harmonie du complexe. C'est pourquoi, en se basant sur les résultats déjà accumulés, il est nécessaire d'établir des séries de critères où doivent être incluses les caractéristiques des forêts, la fertilité, la turgescence, la densité, la phytochimie et les particularités plus complexes de l'entomofaune, tel que le potentiel hypothétique de multiplication chez les insectes nuisibles, la présence de défoliateurs à l'état endémique, l'estimation du complexe des prédateurs, des parasites et des entomopathogènes. Tout ceci est essentiel à l'établissement des caractéristiques de rythme, d'amplitude et de plasticité de l'équilibre naturellement établi. Toute déviation de ces normes devra être corrigée. Par exemple, la disparition d'une ou de plusieurs espèces de prédateurs, de parasites ou de microorganismes entomopathogènes, ou l'épuisement complet de leur nourriture (c'est-à-dire leur hôte) doit être comblée par l'introduction d'une espèce mieux adaptée, etc. Il est bien entendu que pour réaliser un tel objectif, c'est-à-dire maintenir un équilibre biologique établi, on doit organiser un service spécial de laboratoires et d'installations industrielles pour l'obtention des insectes et des entomopathogènes nécessaires et

ce, dans le seul but d'amorcer un début de lutte alors qu'il est encore possible d'utiliser tout le complexe de facteurs bénéfiques de la nature.

### **Deuxième situation : massifs forestiers dans lesquels l'équilibre biologique est rompu et où l'expansion des insectes défoliateurs atteint le stade épidémique**

Cette situation résulte d'un déséquilibre de différents facteurs, tels que fertilité, sécheresse, phytochimie, complexe des parasites, des prédateurs et des entomopathogènes, qui provoque l'interruption de quelques anneaux de la chaîne. C'est alors que le métabolisme des insectes défoliateurs nuisibles s'élève et que les populations se multiplient. Dans ce cas, le rôle des prédateurs, des parasites et de différentes maladies telles que microsporidioses et mycoses perd sa fonction régulatrice et répressive. Mais dans cet état de choses, il est important d'estimer réellement le rôle minimal des organismes utiles.

Dans une situation semblable, les méthodes dites d'inondation par introduction massive d'insectes prédateurs ou parasites dont les représentants sont déjà présents dans le complexe doivent être rejetées. Il faut alors recourir de préférence aux virus afin de créer des foyers d'épizooties ou encore à *B. thuringiensis*; ces méthodes de lutte n'entraîneront pas la disparition complète des prédateurs et parasites, comme c'est le cas avec la lutte chimique, ce qu'il faut corriger par la suite.

### **Troisième situation : Invasions de massifs forestiers très vastes par des insectes défoliateurs dont certaines espèces peuvent être considérées comme sévissant à l'état épidémique généralisé**

Dans une telle situation, il ne peut être question de prendre en considération la présence des prédateurs et des parasites ou d'envisager leur utilisation. Dans certains cas, on peut recourir aux méthodes de dissémination de virus afin de provoquer des épizooties et, dans le cas de lépidoptères, on peut utiliser *B. thuringiensis* qui, en réalité, donne des résultats aussi valables que les méthodes de lutte chimique.

## **Prédateurs**

Si nous considérons l'ensemble des complexes forestiers, il apparaît évident que parmi les hyménoptères prédateurs, les plus actives sont les fourmis, qui accomplissent un travail gigantesque et souvent inaperçu. Le très grand nombre de fourmis trouvées dans la nature peut s'expliquer par la rareté des parasites et des maladies qui les affectent. Cependant, lorsque les populations atteignent une densité très élevée, elles sont réduites par les prédateurs (oiseaux) et aussi par des luttes entre espèces. En général, les fourmis sont perçues comme des agents sanitaires forestiers qui peuvent en même temps jouer un rôle de dissémination de certains germes pathogènes néfastes aux insectes défoliateurs. Quant aux guêpes, elles jouent un rôle important beaucoup plus comme vectrices des maladies virales des insectes que comme agents de prédation.

Parmi les Coléoptères, les Tenebrionidae, les Coccinellidae et quelques autres peuvent avoir une action prédatrice très importante, principalement les Coccinellidae qui s'attaquent aux insectes suceurs, mais leur champ d'activité est limité et n'atteint pas toutes les espèces. En général, les Coléoptères prédateurs peuvent atteindre un potentiel de densité utile et il y a beaucoup d'exemples valables de régulation et d'équilibre biologique forestier au compte de ces prédateurs. Toutefois, ils n'ont pas assez de plasticité écologique et des espèces subissent des éliminations sporadiques par parasitisme ou par différentes maladies, principalement des protozoonoses et des mycoses.

Parmi les Hémiptères prédateurs observés en forêt, aucun n'est doué d'activités remarquables, mais par leur action prédatrice sur les œufs des principaux insectes défoliateurs et surtout par la dissémination des maladies virales et des protozoaires, les Hémiptères jouent un rôle très important dans l'équilibre des populations.

Les Nevroptères les plus actifs sont les larves des chrysopes, surtout connues comme prédatrices des insectes suceurs, bien que leur rôle le plus subtil soit d'agir comme prédateurs des insectes pouvant endommager les plantes à floraison abondante, qui sont considérées comme un apport supplémentaire de nourriture (nectar et pollen) aux prédateurs et aux parasites des insectes défoliateurs.

Certains prédateurs et parasites, qui ne sont pas considérés comme très actifs au point de vue de la destruction de leurs hôtes par consommation directe ou par parasitisme, peuvent quand même jouer un rôle très important s'ils sont des agents de dissémination de virus et de protozoaires chez ces mêmes hôtes. Ces cas, cependant, exigent une attention spéciale afin de mieux connaître les fluctuations du complexe faune-phytocénose et de s'assurer que ces disséminations ne représentent aucun danger d'infections secondaires par suite des virus mutants ou en raison d'autres causes.

## Parasites

C'est au groupe des Hyménoptères que se rattache le plus grand nombre de parasites incluant des espèces très diversifiées et très spécialisées, offrant ainsi un fort potentiel d'action vis-à-vis de leurs hôtes. Evidemment, leur action dépend des réactions de défense (en capsulation), de la densité et même des caractères génétiques de l'hôte. Dans l'ensemble, les Hyménoptères parasites peuvent jouer un rôle de régulation mais les résultats de leur activité multiforme ont plutôt une valeur académique. Il ne peut donc être question de les utiliser comme moyens curatifs, mais leur rôle comme agent de dissémination de microbes entomopathogènes est important.

En ce qui concerne les Diptères, l'action parasitaire des tachinaires est connue comme extrêmement utile dans l'histoire de la lutte biologique. Elles sont aussi des agents de dissémination des maladies et elles jouent certainement un rôle important dans l'ensemble de l'équilibre biologique.

## Microorganismes entomopathogènes-Virus

Les infections virales (polyédries nucléaires, polyédries cytoplasmiques, granuleuses, virus à vérole) sont très spécifiques, très efficaces et ont une action radicale si elles atteignent

naturellement ou par suite d'introduction le stade d'épizooties dans les populations d'insectes nuisibles. Mais, si les virus peuvent être employés sans restriction dans la pratique courante de lutte contre les Tenthredinidae et les Diprionidae et fournir des résultats similaires et reproductibles, il en est autrement en ce qui concerne la lutte contre les Lépidoptères; cela est dû à la présence de certains virus d'origine locale dans leurs populations; les virus alors introduits, à cause des interférences, ne provoquent pas toujours d'épizooties. Toutefois, l'utilisation de maladies virales pour la répression de certains Lépidoptères s'est avérée aussi efficace que les applications d'insecticides chimiques. Mais le phénomène qui mérite d'être considéré et qui milite en faveur de l'emploi de virus est la transmission de la maladie à la progéniture. Cela offre, il va sans dire, de très grandes perspectives pour l'avenir.

Enfin, il convient de mentionner que l'obtention des virus est malheureusement encore limitée et ne peut être réalisée qu'à l'échelle semi-industrielle en utilisant les insectes-hôtes.

## **Bactéries**

*Bacillus thuringiensis*, communément appelé Bt, est un sporulé qui produit, au cours de la sporulation, un cristal protéinique bipyramidal qui contient des séquences toxiques pour certains insectes. Deux sérotypes de cette bactérie sont employés comme insecticides microbiens, soit Bt var. 3a3b qui provoque généralement une septicémie-entérot toxique chez les chenilles de Lépidoptères et Bt var. *israelensis* (sérototype 14) qui est toxique pour les larves de certains diptères. Un autre sérototype, Bt var. *tenebrionis* sera prochainement commercialisé pour son emploi dans la lutte contre certains Coléoptères.

Cependant, on peut remédier à la déficience du bacille en procédant à la sélection de souches plus virulentes ou par l'apport de certaines substances modifiant l'état physiologique des insectes. En outre, si *B. thuringiensis* n'est pas transmissible à la progéniture, il provoque des perturbations métaboliques importantes chez l'insecte qui ont pour effet de réduire la viabilité de la descendance (l'effet de rémanence). De plus, le bacille est maintenant produit à l'échelle commerciale et il devient ainsi possible de l'utiliser sur de grands territoires.

## **Protozoaires**

En se référant, par exemple, au genre *Herpetomonas* sp. des Trypanosomatidae, on sait qu'il s'agit de parasites commensaux qui peuvent avoir une influence notable sur l'hôte et réduire sa fécondité et sa viabilité. Par sa facilité d'introduction et sa transmission à la progéniture, ce microorganisme peut être considéré comme un élément utile et régulateur des populations d'insectes nuisibles.

Par ailleurs, diverses espèces de microsporidies sont très largement répandues dans les populations d'insectes défoliateurs des forêts. Les microsporidies n'entraînent pas un taux important de mortalité mais elles existent principalement à l'état chronique et tolérant et agissent plutôt sur la fécondité de l'hôte. Elles sont dignes d'intérêt parce qu'elles peuvent

être transmissibles à la progéniture; cependant, les méthodes expérimentales concernant l'utilisation et l'application des microsporidies sont encore peu développées et les résultats de leur introduction sont aléatoires. En fait, on n'a pas encore réussi à mettre au point des techniques valables de protection des spores contre l'insolation et contre les substances volatiles émises par les plantes. Cela exclut toute possibilité de dispersion aérienne, d'autant plus que ces microorganismes, n'ayant pas une action spécifique, peuvent être une menace pour le complexe des insectes prédateurs et parasites et même probablement pour d'autres éléments de la faune forestière. Cependant, de façon restreinte, leur introduction est possible par dissémination d'hôtes infectés soit naturellement, soit en laboratoire.

## Mycoses

Ces microorganismes ont un champ d'action extrêmement grand et atteignent de nombreuses espèces. Ils peuvent être saprophytes ou parasitaires. Seuls quelques-uns sont très actifs et provoquent sporadiquement des mycoses épizootiques par filots. Ces épizooties dépendent, entre autres, de l'état de la population de l'insecte, des conditions climatiques, principalement de la pluie et d'un taux général d'humidité qui favorisent leur développement. Les mycoses ne sont pas spécifiques dans leur action et leur utilisation massive dans un proche avenir est douteuse. Leur application avec des doses sub-létales d'insecticides offre des possibilités, mais seulement contre certaines espèces d'insectes et ce problème est encore à l'étude.

Si dans la lutte contre les insectes forestiers les plus nuisibles, il a été démontré que l'utilisation des virus et des bactéries (pourvu que leur action soit assez spécifique et virulente) était réellement possible et répondait au concept de lutte microbiologique qui est de provoquer des maladies, il faut dire, cependant, que l'utilisation des toxines des microorganismes ou encore d'une combinaison d'entomopathogènes et d'insecticides chimiques a été peu prometteuse. Nous y voyons là plutôt une sorte de compromis proposé par ceux qui appliquent les méthodes de lutte chimique, compromis qui est destiné ni à la modernisation et à l'industrialisation, ni à la sélection et au perfectionnement des entomopathogènes en vue de leur utilisation.

Je prends la liberté d'attirer ici votre attention sur deux travaux concrets qui ont été réalisés dans ma section de pathologie des insectes du Centre de Recherches forestières des Laurentides et dont les résultats ont servi à de vastes programmes de protection des forêts. Il s'agit de :

- 1) L'application du virus de *Neodiprion swainei* Midd.
- 2) L'utilisation de *B. thuringiensis* dans la protection des forêts canadiennes de sapins et d'épinettes contre la tordeuse des bourgeons de l'épinette, *Choristoneura fumiferana* Clem.

## Virus de *N. swainei*

Les peuplements de pin gris (*Pinus banksiana* L.) de l'Amérique du Nord, ressources exploitées pour le bois de sciage et pour la production de papier kraft, subissent périodiquement de sévères infestations causées par la tenthrède *Neodiprion swainei* M. Une

infection virale d'origine locale fut détectée chez cet insecte, mais cette infection n'occasionnait pas plus de 5% de mortalité. Après une série de sélections, on a réussi à augmenter la virulence du pathogène, si bien que le taux de mortalité des larves de *N. swainei* a atteint 95%. Dès lors, on était en mesure d'envisager les possibilités d'utiliser cette maladie dans la pratique courante de lutte contre l'insecte.

Ce virus a donc fait l'objet d'études détaillées qui ont porté sur la morphologie, l'écologie, les effets sur le métabolisme de l'insecte, la préparation de stocks de virus, la formulation, les méthodes de dispersion aérienne, la période et le mode d'application ainsi que sur les possibilités d'utilisation du phénomène de transmission à la progéniture.

Les résultats obtenus ont démontré les possibilités réelles et la rentabilité de l'emploi de ce virus dans la lutte contre *N. swainei*.

## **Bacillus thuringiensis**

Tordeuse des bourgeons de l'épinette (*Choristoneura fumiferana*)

Au Canada, grâce aux recherches accomplies durant les vingt dernières années par différentes institutions, en particulier le Centre de Foresterie des Laurentides, Forêts Canada, Bt 3a3b est devenu l'insecticide de choix pour lutter contre les lépidoptères forestiers nuisibles, en particulier la tordeuse des bourgeons de l'épinette. Trois périodes ont conduit à ce résultat :

- de 1960 à 1972 : Démonstration que Bt peut être répandu en forêts pour contrôler efficacement la tordeuse des bourgeons de l'épinette et constatation que l'addition de chitinaise augmente le pouvoir pathogène de ce bacille chez l'insecte en question.

- de 1972 à 1980 : Obtention de souches de Bt 3a3b plus pathogènes et chitinolytiques. Etablissement des normes de dispersion aérienne. Réalisation de suspensions concentrées de cet insecticide dispersable à raison de 4,7 l/ha tout en épandant la dose nécessaire (20 x 10<sup>9</sup> unités internationales/ha).

- de 1980 à 1984 : Développement de suspensions très concentrées de Bt (Futura).

La nouvelle préparation a été développée en tenant compte du fait qu'il faut réduire à un minimum le volume à appliquer pour abaisser les coûts de l'épandage. Pour atteindre ce but, il faut obtenir une préparation plus concentrée en éliminant, par exemple, le maximum de matières inertes. Par ailleurs, pour assurer une sécurité totale du nouveau produit, seulement des additifs naturels doivent être utilisés. La nouvelle préparation de Bt appelée Futura a été conçue en tenant compte de la nécessité de réduire l'évaporation dans l'atmosphère pendant l'arrosage, particulièrement lorsqu'on utilise de grands avions qui volent plus haut et à plus grande vitesse que les avions mono-moteurs utilisés conventionnellement, tout en assurant la protection de la préparation contre la contamination et la germination des spores. Le Sorbitol, une liqueur de maïs dérivée du glucose, est utilisé comme agent de base parce qu'il est un anti-évaporant qui retient l'humidité et qu'il a une grande densité. De plus, il a une pression osmotique élevée, ce qui assure la conservation de la préparation.

La pression osmotique du Sorbitol étant supérieure à celle des microbes, elle a pour effet de prévenir à la fois la germination des spores de Bt et la contamination par des microorganismes de l'air permettant ainsi la conservation de Futura pendant plusieurs années. Il faut ajouter que le Sorbitol est totalement sécuritaire, puisqu'il est utilisé abondamment dans l'industrie alimentaire, notamment dans la confiserie et les confitures.

Généralement, lorsque les normes de dispersions aériennes sont respectées et que les populations de tordeuses ne dépassent pas 35 à 45 larves /45 cm, l'application de ce type de suspensions de Bt 3a3b, permet de réduire la population de l'insecte de 90% et de protéger au moins 70% du feuillage des conifères. Bt 3a3b est, depuis 1984, le seul insecticide recommandé au Québec et en Ontario pour contrôler la tordeuse des bourgeons de l'épinette, la spongieuse et d'autres Lépidoptères. Cette bactérie est donc appliquée sur des centaines de milliers d'hectares de forêts.

Dans le cadre de ce programme de protection des forêts, notre section a, depuis plusieurs années, recours à ses propres méthodes de prévision concernant les mouvements présents et futurs des populations de différents insectes défoliateurs, principalement les Lépidoptères et des Tenthredinidae. En effet, l'exploration de l'état du métabolisme des insectes sains ou subissant différentes infections (viroses, bactérioses, protozoonoses, mycoses) à différents âges de leur développement, aux stades épidémiques, endémiques ou de régression, permet d'établir l'état des populations des insectes par rapport aux taux de certains éléments et de leur synchronisation. Subséquemment, cette détermination du taux et de la synchronisation de l'acide urique, du potassium, du soufre, des lipides totaux, du chlorure, de glycérol et de l'activité de certains enzymes (transaminases, phosphatases, déshydrogénases, kinases et cholinestérase) permet d'évaluer toute variation physiologique à l'intérieur des populations d'insectes, en particulier leur potentiel de vitalité ou de sensibilité à différents facteurs. Le tableau ci-dessous est une illustration des résultats que nous avons obtenus.

## Conclusions

En étudiant l'histoire de la protection des forêts, nous nous rendons compte que l'utilisation des prédateurs, des parasites et des microorganismes entomopathogènes demeure plu-

**Tableau I.** Variations du taux de certains métabolites et de l'activité de certains enzymes dans l'hémolymphe des larves d'insectes au cours d'infections.

	<i>Choristoneura fumiferana</i> (Tortricidae)		<i>Neodiprion swainei</i> (Tenthredinidae)	
	Larves saines	Larves bacilloisées	Larves saines	Larves virosées
<b>Enzymes</b>				
GOT <sup>1</sup>	189,0	182,0	20,0	1200,0
ICDH <sup>2</sup>	682,0	152,0	7,6	79,0
Phosphatase alcaline	200,0	420,0	16,0	1000,0
<b>Métabolites</b>				
Chlorure mEq/l	36,8	114,0	46,0	20,0
Glycérol libre mg/100 ml	7,2	4,2	47,2	14,0

<sup>1</sup> GOT : Glutamique oxalo acétique transminase

<sup>2</sup> ICDH : Isocitrate déshydrogénase

Activités enzymatiques exprimées en  $\mu\text{U/ml}$  :  $1 \text{ mU/ml} = \frac{1 \text{ } \mu\text{substrat converti}}{\text{minute/ml}}$

tôt dans un état statique, c'est-à-dire, indéterminé, incertain, expérimental et aux résultats très divers. Tout ceci parce que l'on a tendance à interpréter les résultats de travaux de recherche réalisés sur de très petites étendues dans un jugement global qui ne prend pas en considération les conditions de l'environnement, l'état du métabolisme des insectes, la densité de ces insectes et la situation du complexe des prédateurs, des parasites et des microorganismes entomopathogènes.

Toutefois, cette conception est en voie de changement face à une série de problèmes extrêmement difficiles qui se posent aux scientifiques. La réticence qui persiste encore provient du fait que le rôle futur et extrêmement important de la lutte biologique est sous-estimé et aussi du fait que certains voudraient éliminer, sur les marchés mondiaux, toute velléité de concurrence que la lutte biologique peut susciter vis-à-vis des méthodes de lutte chimique bien enracinées. Pour toutes ces raisons nous devons être clairvoyants et prendre la décision de recourir, d'une part, au complexe des prédateurs et des parasites pour maintenir les équilibres biologiques et, d'autre part, d'appliquer, comme méthodes curatives, les microorganismes (bacilles, virus et autres) lorsqu'il s'agit d'enrayer des invasions d'insectes, ces microbes doivent être commercialisés en raison de l'accroissement des dangers réels que représentent les insecticides chimiques dispersés par milliers de tonnes sur nos forêts. Des décisions doivent être prises afin que les méthodes biologiques de lutte aient réellement droit de cité et que dans un proche avenir elles soient préférées aux insecticides chimiques. Dans le cas contraire, la lutte biologique demeurera dans la situation précaire que nous connaissons et continuera à jouer le rôle très noble et très savant d'une cendrillon noyée par les insecticides chimiques. Mais tout ceci ne dépend que d'une profonde compréhension de la situation et s'inscrit dans le problème important de la lutte pour la préservation de notre environnement.



## 22

### **Entomologie générale : influence des traitements anti-acridiens sur l'entomofaune de la vallée du Sous (Maroc)**

W.A. SMIRNOFF

*Centre de foresterie des Laurentides, Forêts Canada, 1055, du PEPS, Sainte-Foy (Québec), Canada G1V 4C7*

L'automne 1954 a été marqué par une invasion massive de la vallée du Sous (région sud-occidentale du Maroc) par des essaims considérables en densité et en étendue de criquets pèlerins (*Schistocerca gregaria* Forsk.). L'ampleur inusitée de cette invasion risquait de provoquer une catastrophe économique et sociale dans cette plaine féconde et florissante. Des invasions presque comparables, quoique moins massives, se sont produites au cours des automnes 1955 et 1956.

Des essaims de Criquets pèlerins, nés dans les régions nord-tropicales du continent africain sont en effet portés rapidement par les vents dominants, au cours des mois d'octobre et de novembre, vers le Maroc sud-occidental. Ces vents apportent aussi avec eux la pluie dans les plaines et la neige au-dessus de l'altitude de 2 000 mètres sur les chaînes montagneuses élevées qui limitent le bassin du Sous : Haut-Atlas au Nord, Anti-Atlas au Sud, massif volcanique du Siroua à l'Est, qui fait charnière entre les deux chaînes.

Avec l'abaissement de la température de la fin de l'automne et de l'hiver, les essaims de Sauterelles, moins mobiles alors, sont comme pris au piège dans la vallée où ils séjournent pendant plusieurs mois, se déplaçant d'est en ouest, et inversement, au gré des brises de terre ou de mer qui s'établissent chaque jour. Les riches cultures de la vallée (agrumes, primeurs, fleurs et même céréales non irriguées lorsque la pluviométrie est suffisante) risquent d'être anéanties. C'est pour limiter au maximum les dégâts des cultures, des forêts et des pâturages, que le gouvernement marocain a entrepris la destruction massive des essaims, destruction qui doit être assurée le plus rapidement possible pour être efficace et permettre d'anéantir les sauterelles avant qu'elles ne pondent. On réduit ainsi, au mini-

mum, la lutte contre les larves. Pour ce faire, des centaines d'hommes encadrés par des techniciens éprouvés et un personnel scientifique de direction, utilisant des centaines de véhicules tous terrains, des poudreuses, des atomiseurs, une vingtaine d'avions, des hélicoptères, ont déversé sur la vallée des quantités énormes d'acridicides. C'est ainsi que, de 1954 à 1956, ont été employés dans cette seule vallée, dont la superficie est de 1 300 000 hectares, 4 000 tonnes d'une poudre contenant 25% d'HCH technique (hexachlorocyclohexane) et un million de litres de solution huileuse principalement d'HCH titrant 10% d'isomère gamma. Il a été notamment répandu 150-180 kg d'HCH/ha sur une surface cultivée (céréales, primeurs) de 200 000 hectares.

Il est bien évident qu'une telle quantité d'un insecticide puissant ne peut rester sans effet sur la faune locale. Le Service de la Défense des Végétaux a décidé d'étudier cette action des acridicides. Ce travail m'a été confié et j'ai pu effectuer des observations méthodiques sur l'altération de la faune entomologique à la suite de l'action antiacridienne menée pendant les deux hivers 1955-1956 et 1956-1957. Je remercie mon chef de laboratoire, M. Ch. Rungs, entomologiste averti de la faune locale et spécialiste des questions acridiennes, pour les conseils et l'aide qu'il m'a apportés.

## Méthode de travail

Trois biotopes principaux s'observent dans la vallée du Sous :

1) La forêt d'arganier. C'est le biotope le moins altéré de la vallée et qui se rapproche le plus de l'ancien paysage botanique avant que l'homme ne l'ait complètement transformé. Elle protège contre l'érosion, elle rend possible la culture des céréales sous ses ombrages et dans ses clairières; elle forme un pâturage aérien fort apprécié par le bétail; elle donne la célèbre huile d'argane, elle fournit du bois d'œuvre et du charbon de bois. Pour les naturalistes, elle est surtout, dans ses rares parties denses et les moins broutées, le refuge de toute une flore et de toute une faune bien particulière où se côtoient les éléments méditerranéens, atlantiques, canariens parfois, asiatiques, érémiques et même tropicaux.

2) Les cultures arbustives, principalement constituées d'agrumes (*Citrus*) et d'oliviers. Le biotope naturel est très dégradé dans l'oliveraie et inexistant dans les plantations de *Citrus* où tout est artificiel.

3) Les cultures maraîchères et florales, où l'irrigation et le défrichement ont complètement transformé le milieu naturel.

N'oublions pas que l'intense pâturage a, presque partout en forêt et partout dans la steppe, profondément altéré le visage botanique original.

Pour chacun de ces trois types de biotope, nous avons choisi trois stations d'une superficie d'un hectare chacune. Pour la première (station 2), il fut exclu toute possibilité de présence des insecticides en proscrivant toute intervention insecticide dans la zone périphérique de 1 km de côté.

La seconde (station 1), fut installée au milieu des zones où la lutte anti-acridienne a été menée sans entraves par les équipes spécialisées. Pour la troisième (station 3), il a été procédé systématiquement à l'épandage d'HCH, soit en poudre, soit en solution huileuse, répété tous les cinq jours, sans que l'on s'occupe de la présence ou de l'absence des sauteuses.

Les stations appartenant à chaque biotope ont été choisies avec soin pour que les conditions écologiques soient le plus possible identiques de façon à ce qu'*a priori*, le peuple-

ment entomologique soit très comparable, quant à sa composition spécifique et au nombre d'individus par espèce, à une saison donnée. Il a été tenu notamment compte de l'identité de la nature du sol, de la composition floristique, de l'âge des arbres, de leur densité, de l'importance des surfaces ensoleillées ou ombrées, de l'importance du tapis végétal des plantes annuelles, de l'exposition, etc.

Par ailleurs, chacune de ces stations a fait l'objet d'une étude sommaire qui a été portée sur une fiche où tous les détails ont été notés.

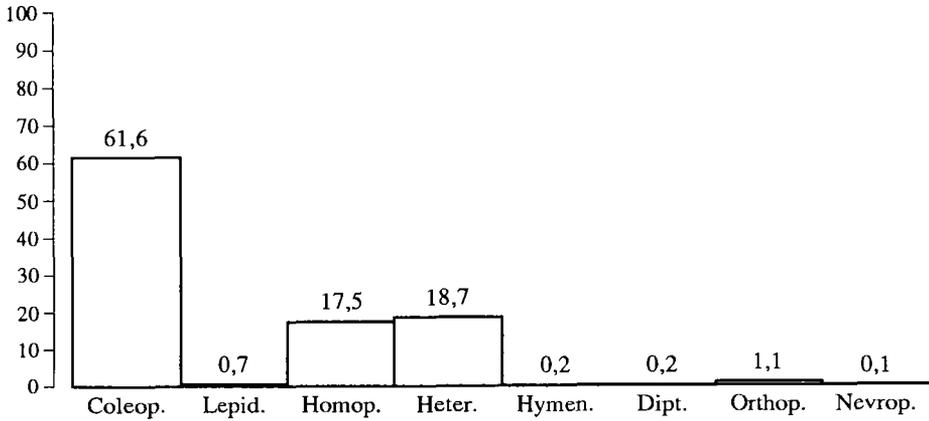
La faune entomologique des insectes adultes a été systématiquement recueillie soit par capture au filet fauchoir ou à papillons, capture à la lumière (lampes à acétylène), ramassage à la surface du sol et sous les pierres, piégeages divers (cadavres d'animaux, fruits et légumes pourris, fromages, mélasse dissoute dans du vin rouge, bandes de papier collant, gobe-mouches), soit enfin par fossés creusés pour y récolter des insectes terricoles, qui y tombaient et ne pouvaient s'échapper. Quelques élevages de bois et de végétaux attaqués par des ennemis ont complété l'étude de la faune et ont encore permis de reconnaître l'existence de certains parasites et prédateurs de ces ennemis. Pour éliminer le plus possible les erreurs personnelles d'interprétation, l'équipe de travail a toujours été composée des mêmes personnes, chacune ayant son travail propre. Pendant un an et demi (juin 1955 à janvier 1957), on a effectué chaque semaine les relevés météorologiques et phénologiques indispensables. Une équipe spéciale était affectée à la collecte minutieuse de tous les animaux morts ou vivants; ce ramassage avait lieu sur les appâts, dans les pièges, à la surface du sol sur tout le territoire de la station, sous les pierres (à l'exception d'une surface de 10 m<sup>2</sup> nettement délimitée où la faune sous les pierres a été épargnée). Il était procédé également au secouage des branches des arbres et des buissons au-dessus de toiles, et au ramassage des insectes ainsi tombés. Sur les herbes, le ramassage se faisait à l'aide d'un filet fauchoir. Les insectes ailés à activité diurne étaient capturés au filet à papillons. Chaque insecte ramassé était étiqueté. L'étiquette portait le numéro de la station, le mode de capture (cadavre, sous les pierres, par battage sur telle essence, lumière, etc.). L'étiquette portait, en outre, la date de la capture. A chaque station était affectée une étiquette de couleur différente en vue de faciliter le triage ultérieur. Chaque insecte capturé était consigné sur un registre correspondant à chaque particularité de capture.

Les travaux effectués sur ces stations ont permis d'établir un relevé complet de la faune entomologique des stations, en tenant compte des conditions écologiques très diverses. L'attention s'est portée particulièrement sur l'étude de l'entomofaune de l'arganier. Dans ce but, et parallèlement aux recherches sur les stations, un ramassage systématique de l'écofaune de l'arganier a été pratiqué par battage des arbres, en dehors des stations et en différents milieux écologiques de la forêt d'arganiers (fig. 1). Ce ramassage a permis d'enrichir notablement les connaissances actuelles sur la faune de la région.

Sur les stations de contrôle, ont été ramassés des milliers d'insectes se rapportant à tous les Ordres. Ce matériel assorti d'observations phénologiques permet d'obtenir un bon aperçu qualitatif et quantitatif sur la faune aux différentes saisons de l'année (encore limitée cependant à l'année relativement humide de 1955 et celle plus sèche de 1956).

Nous nous faisons un devoir d'exprimer à cette occasion notre reconnaissance à M. Ch. Rungs, qui a bien voulu déterminer les Lépidoptères et les Orthoptéroïdes; au colonel Kocher qui a accepté de déterminer les Coléoptères; à M. Muller (Berlin), les Homoptères Auchénorhynches; à M. Denis, les Arachnides. Il reste à étudier les Hyménoptères, Diptères, Névroptères et Acariens.

Le matériel est tellement vaste et varié qu'un temps considérable est encore nécessaire pour que l'on obtienne la détermination de la totalité des récoltes et pour que le travail de



**Figure 1.** Entomofaune de l'arganier en l'absence de traitements insecticides. — Battage du feuillage de l'arganier.

détail puisse être achevé. Mais nous pouvons déjà tirer quelques conclusions préliminaires d'ensemble. Ces conditions schématiques préliminaires sont réunies dans quelques tableaux (Tableau I, figs. 2, 3).

Il apparaît immédiatement que les Coléoptères adultes composent la grande majorité de la faune, suivis de loin par les Hémiptères et les Homoptères. Les autres Ordres sont peu représentés (Tableau II, figs. 3).

Les Coléoptères dominent, comme il a été établi au tableau I. Au printemps, le nombre des insectes augmente subitement en mars, varie peu jusqu'à fin mai, pour croître considérablement en juin. Dès juillet, la faune s'appauvrit en individus jusqu'en octobre. Pendant tout l'automne et tout l'hiver, elle est presque nulle, soit par mort naturelle des insectes, soit, pour certains, par leur migration vers des lieux d'hivernage situés ailleurs que dans les arganiers.

**Tableau I.** Entomofaune de l'arganier en l'absence de traitements insecticides. Données moyennes pour juillet 1955 à août 1956.

Caractéristiques	Ordre des insectes							
	Coleop- tera	Lepi- dop- tera	Homop- ptera Auchen- rhynces	Hete- rop- tera	Hyme- nop- tera	Dip- tera	Ortho- ptera	Neurop- tera
Battage de feuillage de l'arganier	61,6	0,7	17,5	18,7	0,2	0,2	1,1	0,1
Cénose complète de l'arganeraie	82,4	1,9	3,9	5,9	1,2	1,3	3,3	0,1

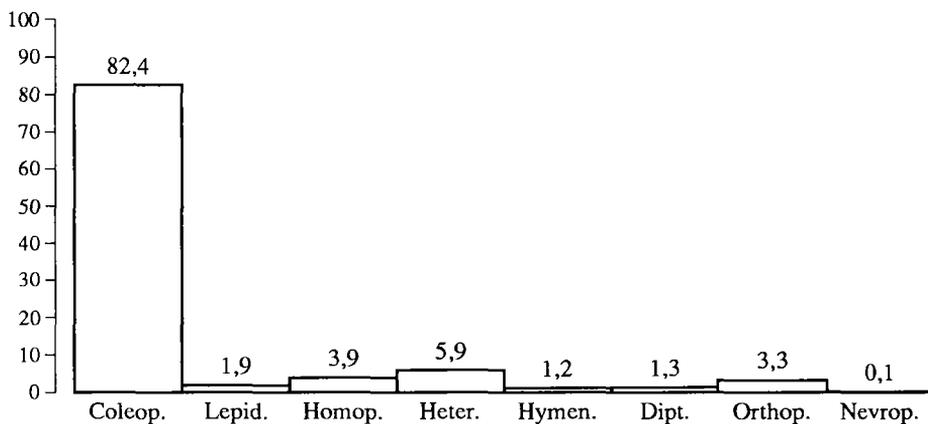


Figure 2. Entomofaune de l'arganier en l'absence de traitements insecticides. — Cénose complète de l'arganeraie.

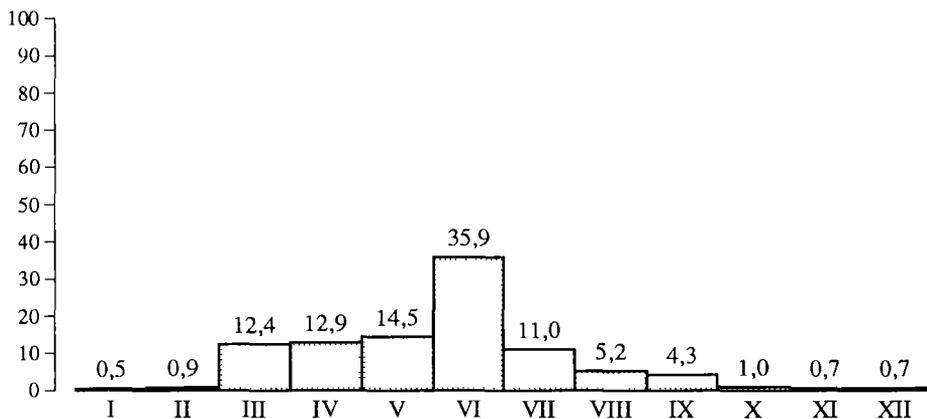


Figure 3. Variations saisonnières de la population entomologique du feuillage de l'arganier au cours de l'année : juillet 1955 - août 1956.

Lorsque l'herbe se dessèche sous les arbres, par suite de la chaleur estivale, les insectes qui s'y trouvent vont se réfugier dans l'ombre de la couronne des arganiers; ce qui explique le sommet observé en juin (Tableau III, fig. 4).

Nous observons un peuplement d'Hyménoptères, de Diptères et de Névroptères, beaucoup plus important que dans la forêt d'arganiers. Cependant ici aussi, les Coléoptères dominent. Régression du nombre des Hétéroptères et des *Cicadoidea*. Il n'a pas été tenu

**Tableau II.** Variations saisonnières de la population entomologique du feuillage de l'arganier. Au cours de l'année juillet 1955 - août 1956.

Mois	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Faune des couronnes d'arganiers	0,5	0,9	12,4	12,9	14,5	35,9	11,0	5,2	4,3	1,0	0,7	0,7

**Tableau III.** Entomofaune des plantations d'agrumes non soumises à l'action des insecticides. Données moyennes annuelles de juillet 1955 à août 1956.

Caractéristiques	Ordre des insectes							
	Coleoptera	Lepidoptera	Homoptera Auchenorrhynches	Heteroptera	Hymenoptera	Diptera	Orthoptera	Neuroptera
Station n° 4	49,0	4,2	2,9	1,7	18,4	10,8	7,6	5,4

**Tableau IV.** Modifications de l'entomofaune de l'arganeraie à la suite des traitements par HCH. Données moyennes annuelles de juillet 1955 à août 1956 <sup>(1)</sup>.

Caractéristiques	Ordre des insectes							
	Coleoptera	Lepidoptera	Homoptera Auchenorrhynches	Heteroptera	Hymenoptera	Diptera	Orthoptera	Neuroptera
Station 2 Forêt d'arganiers jamais traitée	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Station 1 Forêt d'arganiers traitée habituellement	70,9	47,9	64,2	96,8	11,3	84,0	13,0	?
Station 3 Forêt d'arganiers traitée spécialement tous les cinq jours	10,5	2,7	4,7	26,2	0,0	0,0	1,6	0,0

(1) La faune prélevée dans les stations témoins non touchées par l'insecticide donne la cotation 100.

compte des *Coccoidea* (Cochenilles) et des *Aphidoidea* (Pucerons), dont le comptage individuel n'a pas été jugé intéressant. Par contre, les pullulations des espèces composant ces groupes ont été enregistrées (Tableau IV, fig. 2).

En analysant les chiffres, nous voyons que dans la forêt d'arganiers, traitée par les méthodes habituelles dès l'apparition des vols de Sauterelles, la quantité des Lépidoptères capturés descend à 47,9%, celles des Hyménoptères tombe à 11,3% et celles des Orthoptères à 13%. La proportion d'Hémiptères ne varie pas.

Sur les stations où avait lieu un traitement systématique tous les cinq jours, les Hyménoptères, Diptères et Névroptères disparaissent et les Coléoptères tombent à 10,5%.

La quantité d'Hémiptères (Hétéroptères représentés principalement par les espèces *Spilidethis pendurus* f. *militaris* F., *Schires dubius* f. *melanopterus* H., *Coenocoris nerii* (Germ.), *Brachypelta aterrima* Forsk., *Macroscythus brunneus* F.) reste relativement élevée, probablement à cause de la disparition de leurs ennemis (Tableau V, figs. 6, 7, 8).

Nous voyons que la lutte anti-acridienne ne modifie pas sensiblement la proportion d'insectes de chaque ordre par rapport à l'ensemble de la faune entomologique; mais qu'une application systématique des insecticides entraîne la destruction des Hyménoptères, Diptères, Névroptères; par contre les Hétéroptères augmentent en nombre (Tableau VI).

On voit tout de suite la raréfaction de l'entomofaune utile et l'augmentation correspondante de celle des Cochenilles et des Acariens.

La persistance de *Scymnus pallidivestis* est intéressante. Elle s'explique par la relative résistance de l'espèce à l'HCH (Smirnov, 1954) et aussi par le fait que cette Coccinelle a l'habitude de vivre dans l'épaisseur du feuillage des Cyprès plantés comme brise-vents autour des orangeries. Ces arbres ont une végétation dense qui fait écran à la pénétration des insecticides. Quant à *Chilocorus bipustulatus* L., son maintien s'explique en partie par la disparition de ses parasites (*Chalcididae*) qui le détruisent d'habitude presque totalement au cours des mois chauds.

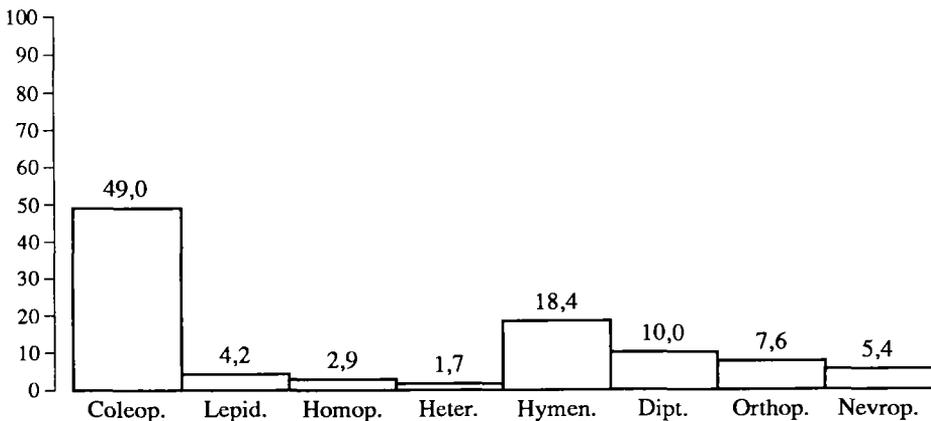
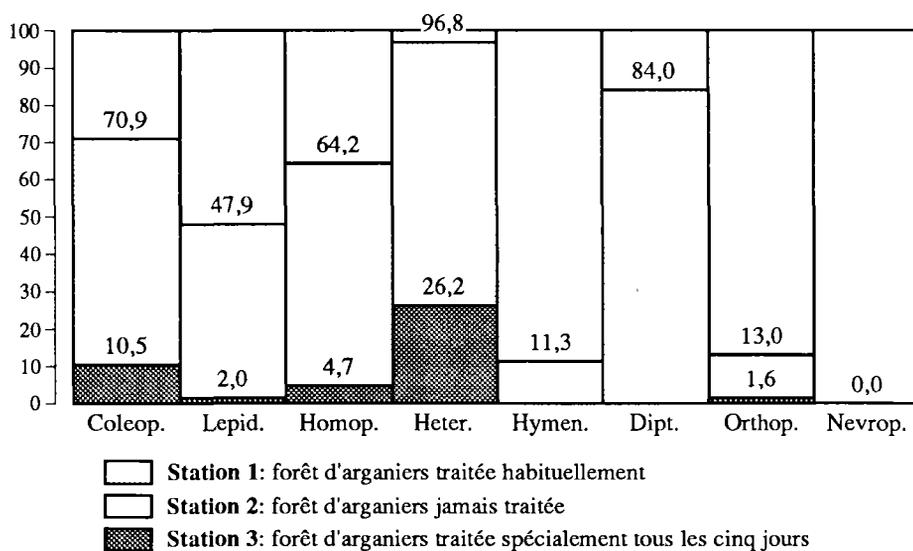


Figure 4. Entomofaune des plantations d'agrumes non soumises à l'action des insecticides.

**Tableau V.** Tableau comparatif entre l'entomofaune de l'arganaie non traitée et de l'arganaie traitée. Proportion établie pour chaque ordre d'insectes de juillet 1955 à août 1956.

Caractéristiques	Ordre des insectes							
	Coleop- tera	Lepi- dop- tera	Homop- ptera Auchen- rhyches	Hete- rop- tera	Hyme- nop- tera	Dip- tera	Ortho- ptera	Neurop- tera
Station 2 Forêt d'arganiers jamais traitée	82,4	1,9	3,9	5,9	1,2	1,3	3,3	0,1
Station 1 Forêt d'arganiers traitée habituellement 25% d'HCH	84,2	1,3	3,6	8,2	0,2	1,7	0,6	0,2
Station 3 Forêt d'arganiers traitée spécialement tous les cinq jours 25% d'HCH	82,6	0,5	1,8	14,6	0	0	0,5	0



**Figure 5.** Modification de l'entomofaune de l'arganaie à la suite des traitements par HCH.

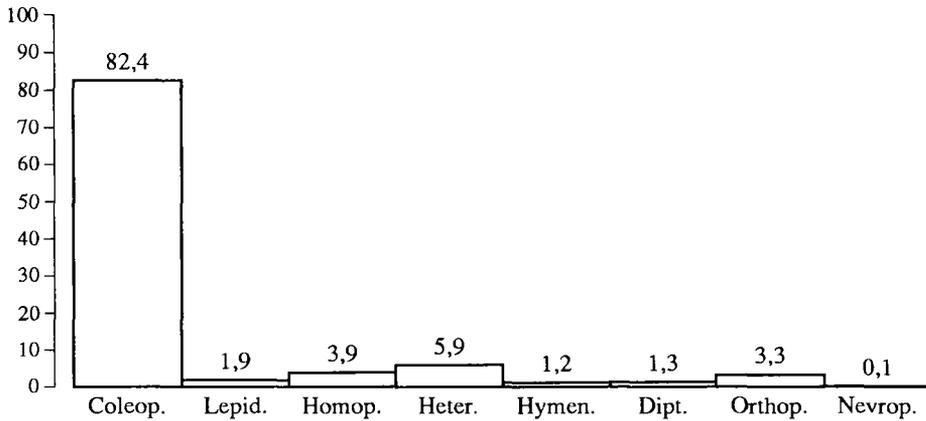


Figure 6. Comparaison entre l'entomofaune de l'arganeraie non traitée et de l'arganeraie traitée. — Forêt d'arganiers jamais traitée.

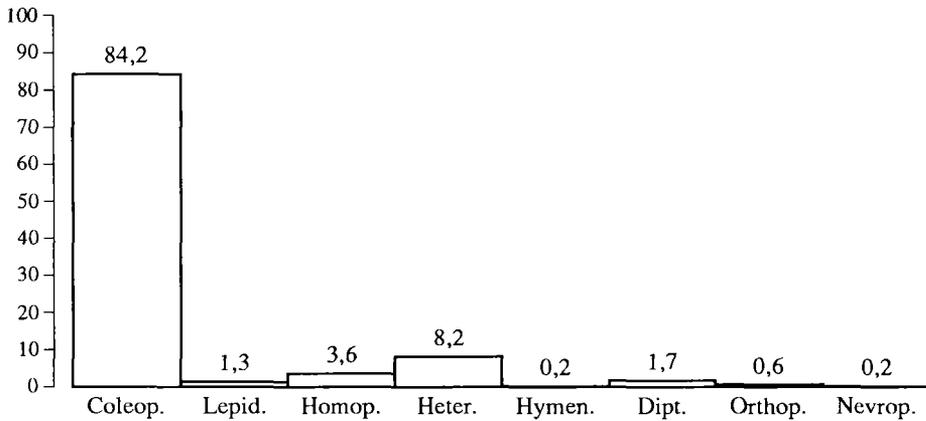
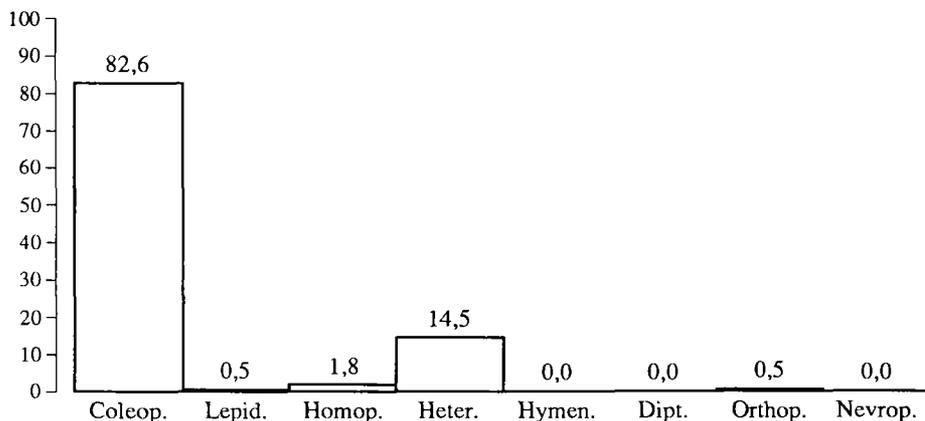


Figure 7. Comparaison entre l'entomofaune de l'arganeraie non traitée et de l'arganeraie traitée. Forêt d'arganiers traitée habituellement, 25% HCH.

## Conclusions

Comme il fallait s'y attendre, 4 millions de kilos d'HCH en poudre et un million de litres d'HCH liquide n'ont pas été déversés sur les 1 300 000 ha de la vallée du Sous sans y apporter de perturbations dans la composition de la faune. En effet, l'entomofaune de la région a été modifiée dans des proportions qu'il n'est pas encore possible de préciser car toutes les déterminations d'espèces ne sont pas terminées et les calculs statistiques n'ont



**Figure 8.** Comparaison entre l'entomofaune de l'arganeraie non traitée et de l'arganeraie traitée. Forêt d'arganiers traitée spécialement tous les cinq jours, 25% HCH.

**Tableau VI.** Variations dans la composition de l'entomofaune des vergers d'agrumes qui n'ont pas subi de traitements acridicides (1952-1954) et après les traitements (1954-1956).

N°	Espèce	Avant les traitements anti-acridiens 1952-1954	Après les traitements anti-acridiens 1954-1956
a) Composition des espèces nuisibles aux Citrus dans l'entomofaune des vergers			
1	<i>Lepidosaphes beckii</i> New	++	++
2	<i>Chrysomphalus dictyospermi</i> Morg.	++	+++
3	<i>Icerya purchasi</i> Mask	+	+++
4	<i>Saissetia oleae</i> Bern.	+	++
5	<i>Aphis gossypii</i> Glov.	+	+++
6	<i>Planococcus citri</i> Risso	0	+++
7	<i>Coccus herperidum</i> L.	0	++
8	<i>Meligethes varicollis</i> Woll.	0	++
9	Acariens ( <i>Lorrya</i> sp.)	0	++
10	Acariens rouges ( <i>Tetranychus</i> sp.)	0	+++
b) Composition de l'entomofaune utile (parasites et prédateurs des espèces nuisibles)			
1	<i>Lindorus lophantae</i> Blaisd	+++	0
2	<i>Chilocorus bipustulatus</i> L.	+++	++
3	<i>Thea 22-punctata</i> L.	+	0
4	<i>Coccinella 7-punctata</i> L.	+	0
5	<i>Novius cardinalis</i> Muls.	++	0
6	<i>Scymnus pallidivestis</i> Muls.	+++	++
7	<i>Cybocephalus rabaticus</i> Smirn.	+++	0
8	<i>Chrysopa vulgaris</i> Schn.	+++	0
9	<i>Aphytis chrysomphali</i> Merc.	+++	0
10	<i>Dicopus citri</i> Merc.	+	0

+++ Population importante. ++ Population moyenne. + Population clairsemée. 0 Disparition de l'insecte.

Tableau VI. (Suite).

N°	Espèce	Avant les traitements anti-acridiens 1952-1954	Après les traitements anti-acridiens 1954-1956
c) Autres insectes observés dans les vergers			
<b>Coléoptères</b>			
Carabidae			
	<i>Demetrias atricapillus</i> L.	+	0
Staphylinidae			
	<i>Medos</i> pl. sp.	+	0
Nitidulidae			
	<i>Carpophyllus hemipterus</i> H.	+	+
	<i>Carpophyllus demidiatus</i> F.	+	+
Phalacridae			
	<i>Olibrus pygmaeus</i> Sturm.	+	+
	<i>Olibrus bisignatus</i> Men.	+	0
Ptinidae			
	<i>Ptinus bicinctus</i> Sturm.	+	0
Scarabaeidae			
	<i>Cetonia funeraria</i> Gay.	+	+
Chrysomelidae			
	<i>Longitarsus albus</i> Ar.	+	0
	<i>Longitarsus nigerrimus</i> Gylecb.	+	+
Curculionidae			
	<i>Pantomorus fulleri</i> Horn.	+	0
<b>Hémiptères</b>			
Pentatomidae			
	<i>Aelia acuminata</i> L.	+	+
	<i>Nezara viridula</i> F.	+	+
<b>Orthoptères</b>			
	<i>Mantis religiosa</i> L.	+	0
	<i>Schistocerca gregaria</i> F. (en période d'invasion)	+	+
	<i>Anacridium aegyptium</i> L.	+	0
<b>Diptères</b>			
	<i>Drosophila</i> pl. sp.	+	+
<b>Hyménoptères</b>			
	<i>Apis mellifica</i> L.	+	0
	<i>Polistes gallicus</i> L.	+	+
	<i>Laesus</i> sp.	+	0
	Fourmis pl. sp.	+	+

pu, en conséquence, être établis pour chaque espèce. On peut noter cependant les faits suivants :

- 1) brusque régression du trachome parmi la population marocaine, par suite de la disparition des Mouches, vecteur de la maladie;
- 2) diminution des cas de paludisme, par suite de la destruction des moustiques vecteurs des Plasmodes;
- 3) disparition presque complète des Scorpions;
- 4) disparition presque totale des Abeilles domestiques et sauvages.

Ces faits traduisent brutalement le choc reçu par l'entomofaune du Sous au cours de la lutte anti-acridienne menée sur une grande échelle.

La disparition des insectes utiles parmi lesquels les Hyménoptères, la raréfaction des prédateurs tels que certains *Coccinellidae* et *Nitidulidae* ont favorisé l'invasion de nombreuses plantations arbustives ou maraîchères (*Citrus*, oliviers, légumes) par des insectes nuisibles principalement suceurs, tels que Cochenilles, Aleurodes, Pucerons, Thysanoptères et surtout par des Acariens. Il est bien établi que l'HCH est sans effet sur ces derniers tandis qu'il élimine leurs ennemis naturels.

Nous pensons néanmoins que le déséquilibre quantitatif de l'entomofaune dans cette région n'aura qu'un caractère provisoire et momentané et qu'il cessera rapidement avec la fin de la lutte anti-acridienne intensive.

L'attention devra se porter sur le rétablissement rapide de l'entomofaune utile aux cultures de la plaine du Sous en vue de combattre le développement des principaux insectes nuisibles dont l'action, prolongée, pourrait être plus désastreuse que l'action passagère des essaims de Sauterelles.

Il conviendrait cependant que l'homme, même pressé par les circonstances, même fort de ce qu'il croit savoir, se penche sur ces problèmes et y réfléchisse avant de lâcher dans la nature les molécules toxiques ou encore les atomes turbulents qu'il pense avoir domestiqués.

#### Cénose de l'arganeraie — Principales plantes :

<i>Argania spinosa</i> (Sapotacées).	<i>Clea europoea</i> (Oléacée).
<i>Acacia gummifera</i> (Légumineuses).	<i>Ononis natrix</i> ssp. (Légumineuses).
<i>Peroploca loevigata</i> (Asclépiadacées).	<i>Anacyclus clavatus</i> (Composées).
<i>Genista ferox</i> (Légumineuses).	<i>Bubonicum odorum</i> (Composées).
<i>Rhus tripartitum</i> (Rhamnacées).	<i>Mathiola</i> pl. sp. (Crucifères).
<i>Zizyphus lotus</i> (Rhamnacées).	<i>Moricandia suffruticosa</i> (Crucifères).
<i>Ephedra fragilis</i> (Gnétacées).	<i>Kleinia authenphorbium</i>
<i>Euphorbia beaumierana</i> (Cactiforum)	<i>Tenortum</i> (Labiées).
<i>Celastrus senegalensis</i> (Oléacée).	<i>Statice mucronatus</i> (Plombaginées).

#### Bibliographie générale

1. Battino M. (1930). L'arganier. *Trav Lab Mal méd et Pharmacie galénique de la Faculté de Paris*, 3<sup>e</sup> partie, Paris, 1930.
2. Boudy P. (1948). Economie forestière nord-africaine. T I : Milieu physique et milieu humain (Larose, Paris), et II, chap IV : Monographie et traitement de l'arganier *id* 1950, 382-416.
3. Challot J-P (1949). L'arganier. *Rev du Bois*, 6-7.
4. Challot J-P (1949). Le forestier au secours de l'arganier. *Rev des Eaux et Forêts*.

5. Emberger L. (1924). A propos de la distribution géographique de l'arganier. (Note préliminaire). *Bull Soc Sc nat, Maroc*, 4.
6. Emberger L. (1925). Le domaine naturel de l'arganier. *Bull Soc bol, France*, 72.
7. Emberger L. (1925). Les limites naturelles climatiques de l'arganier. *Bull Soc Sc nat, Maroc*, 5.
8. Emberger L., Maire R. (1934) Tableau phytogéographique du Maroc (1<sup>re</sup> partie). *Mém Soc Sc nat, Maroc*, 38.
9. Esdorn L., Baronin von Nolde L. (1944). Arganbaum (*Kolonialforstliche Merkblätter*).
10. Ingram J.W., Bynum E.K., Charpentier L.J. (1947). Tests with new insecticides for Control of the sugarcane, *Borer Journ econ Ent*, Menasha.
11. Kocher L. (1956). Catalogue commenté des Coléoptères du Maroc. Travaux de l'Institut scientifique Chérifien.
12. Lepiney J. de, Mimeur J-M. (1932). Notes d'entomologie agricole et forestière du Maroc. *Mém Soc Sc nat, Maroc*, 31.
13. Peyerimhoff P. de (1926). Nouveaux Coléoptères du Nord africain. *Bull Soc ent, France*, 103.
14. Rungs Ch. (1945). Rapport sur les essais de lutte contre les adultes de *Schistocerca gregaria* Forsk. au Maroc français, au printemps de 1945. *Bull semes QNAA*, 2.
15. Rungs Ch. (1952) Contribution à la connaissance des ennemis de l'arganier, *Argania spinosa* L. *Bull Soc Sc nat, Maroc*, 32.
16. Sauvage Ch. (1949). Les environs de Goulimine, carrefour botanique. Vol jubilaire, *Soc Sc nat Maroc*.
17. Smirnoff W. (1954) Observation sur l'emploi d'ester thiophosphorique dans les vergers d'agrumes. III<sup>e</sup> Congrès international de l'Agrumiculture méditerranéenne, Alber, *Fruits et Primeurs*, 225.
18. Smirnoff W. (1956). Observations sur les prédateurs et parasites des Cochenilles nuisibles du Maroc et sur leurs ennemis. Travaux originaux n° 11, Service de la Défense des Végétaux, Ministère de l'Agriculture et des Forêts.
19. Smirnoff W. (1956). Sur un nouveau parasite des *Citrus* au Maroc. *Meligethes varicollis* Woll, *Fruits et primeurs de l'Afrique du Nord*.



## **Recommandations**

A l'issue de cette Ecole Internationale sur les «Perspectives de recherches biologiques et chimiques dans le cadre de la lutte anti-acridienne», les participants ont formulé des recommandations dans les domaines suivants :

### **Intégration des recherches de laboratoire et des recherches de terrain**

De caractère interdisciplinaire, les recherches sur le criquet pèlerin doivent être effectuées, même pendant les périodes de rémission, tant par les chercheurs des laboratoires spécialisés que par les ingénieurs et techniciens de terrain.

Les structures de recherche existantes doivent être renforcées et de nouveaux laboratoires créés dans les pays à technologie avancée pour travailler en étroite collaboration avec les équipes de recherche déjà implantées, ou à implanter, dans les pays concernés par le fléau.

Parmi les thèmes prioritaires permettant une bonne intégration laboratoire-terrain, les participants ont retenu tout particulièrement :

- Etude du complexe hormonal et phéromonal intervenant tant au niveau de la phase «grégaire» que de la phase «solidaire».
- Action des inhibiteurs de croissance (IGR) sur les différentes phases de développement des criquets.
- Recherches sur le métabolisme hydrique des criquets aux différentes phases de leur développement.
- Recherche de nouvelles molécules tant pour améliorer la lutte biologique que chimique contre les criquets.
- Recherche de possibilités de manipulations génétiques en vue d'une lutte biologique plus performante.

Ces différents thèmes, énoncés à propos du criquet pèlerin, peuvent être transposés sur d'autres espèces d'acridiens, ravageurs chroniques des cultures de nombreux pays africains.

D'une manière générale, il sera important de prendre connaissance et de s'inspirer des thèmes de recherches acridiennes et anti-acridiennes prioritaires définis notamment lors des récentes réunions du comité scientifique du Spécial Program for African Agricultural Research (SPAAR).

## **Lutte préventive**

L'élimination du fléau devrait être principalement préventive : aussi est-il fondamental de développer et d'améliorer les techniques de lutte préventive notamment en étudiant les possibilités offertes par la télédétection, par une meilleure connaissance des données météorologiques et des données environnementales. L'utilisation systématique des techniques de modélisation a été préconisée par les participants à l'Ecole Internationale.

De même, une meilleure lutte préventive contre le fléau acridien passe par une réactivation des réseaux de surveillance dans l'aire d'habitat du criquet pèlerin (surveillance des zones de grégarisation et destruction des foyers primaires) en renforçant les organisations régionales et les services nationaux de lutte anti-acridienne. En outre, une réanimation des ententes internationales est indispensable au niveau des régions concernées.

## **Formation**

Les efforts entrepris par différents organismes et à différents niveaux doivent être accrus et accélérés. La formation de chercheurs, d'ingénieurs et de techniciens de terrain constituent la priorité essentielle et peut être réalisée par voie de coopération. L'édition de documents pédagogiques appropriés doit être poursuivie dans les plus brefs délais.

Les participants à l'Ecole Internationale soulignent que le prix de revient d'une telle formation (quatre spécialistes pour chacun des 15 pays africains touchés par le fléau) coûterait le dixième des 60 millions de dollars consacrés à la récente lutte anti-acridienne par le seul Maroc.

## **Acquisition et centralisation de l'information**

Un annuaire des acridologues et des thèmes de recherches qu'ils abordent devrait être réalisé de toute urgence. Une banque de données devrait également être créée dans les plus brefs délais, mettant à la disposition de toutes les organisations spécialisées, tous les éléments susceptibles de favoriser notamment les prévisions et la lutte préventive. Le concours de la FAO pourrait être sollicité dans ce domaine.

## **Techniques de traitement**

Dans la mesure où la lutte préventive risque de demeurer insuffisante dans les années à venir, il est souhaitable de perfectionner les méthodologies et les techniques d'intervention contre les pullulations de criquets pèlerins, en vue d'une grande efficacité et d'une meilleure protection de l'environnement non cible.

En particulier il conviendra de prévoir des matériaux résistants à la corrosion du fait des acridicides ou des solvants utilisés, de chercher à prolonger la durée de vie des molécules utilisées et de favoriser, en connaissance de cause, les associations de produits.

De même, il est nécessaire de créer des insecticides à action de choc très élevée, plus sélectifs, moins toxiques pour l'homme et moins polluants pour l'environnement.

En outre, un accroissement de l'aide internationale est souhaitable en période de pullulation.

## **Environnement**

Les participants à l'Ecole Internationale de Rabat insistent pour que soient effectuées de véritables études d'impact des traitements sur l'environnement non cible. Il est indispensable et urgent qu'une méthode standard d'étude d'impact et du suivi des effets des traitements soit élaborée.

L'attention des responsables des traitements est attirée sur la nécessité de respecter les différentes législations phytosanitaires ou les codes FAO, OMS etc.

Le rôle et la responsabilité de l'industrie chimique fabricant les produits sont également soulignés : les conditionnements, les stockages, les formulations, l'étiquetage des containers doivent faire l'objet d'instructions permettant d'éviter tous les accidents susceptibles de se produire lors de l'emploi des produits ou des récipients les ayant contenus.

Des mesures visant à une meilleure protection des utilisateurs et des populations vivant vivre en zones traitées doivent être mises au point d'urgence et rigoureusement respectées. En particulier, les moyens de traitement et de protection doivent être adaptés aux conditions des régions où ils sont utilisés.

L'importance de la lutte biologique en tant que facteur de protection des populations et de l'environnement non cible est également soulignée.

En particulier une meilleure lutte biologique passe par des recherches sur les organismes entomopathogènes et leurs potentialités, recherches à mener conjointement en laboratoire et sur le terrain.

Les modalités d'application des méthodes de lutte biologique doivent aussi se trouver au centre des préoccupations des chercheurs, ingénieurs et techniciens dans le souci d'une meilleure protection de l'environnement. Des indicateurs de l'efficacité de la lutte biologique doivent également être recherchés en particulier chez les organismes non cibles.

Les participants à l'Ecole Internationale suggèrent qu'il soit demandé aux industries chimiques fabricant les produits utilisés une contribution financière destinée à prendre en charge une partie des études d'impact sur l'environnement et leur suivi.

## **Conclusion**

Les actions entreprises au Maroc lors de la dernière invasion sont apparues aux participants de l'Ecole Internationale comme un modèle d'actions interdisciplinaires et de juridictions administratives diverses.

Enfin, les participants de l'Ecole Internationale demandent à l'AUPELF – UREF de dégager des moyens financiers leur permettant de s'associer à la mise en œuvre de ces recommandations dans les domaines de leur compétence. L'un de ces moyens pourrait être

*Recommandations*

l'ouverture d'un appel d'offre en vue de la réalisation d'un programme de recherche préconisé par l'Ecole Internationale de Rabat sur «Les Perspectives de recherches biologiques et chimiques dans le cadre de la lutte anti-acridienne».

Rabat, le 2 décembre 1989

Le Comité d'Organisation de l'Ecole Internationale.

**IMPRIMERIE LOUIS-JEAN**  
**BP 87 — 05003 GAP Cedex**  
**Tél. : 92.51.35.23**  
**Dépôt légal : 384 — Mai 1991**  
**Imprimé en France**





**Universités francophones** est la collection de l'Université des Réseaux d'Expression Française (UREF). Cette dernière, qui fonctionne au sein de l'AUPELF comme une Université sans murs, a été choisie par le Sommet des Chefs d'Etat et de Gouvernement des pays ayant en commun l'usage du français comme l'opérateur privilégié du Sommet en matière d'enseignement supérieur et de recherche.

Cette collection de manuels universitaires et d'ouvrages de référence s'adresse à tous les étudiants francophones. Elle est appelée à constituer une bibliothèque universitaire en langue française dont les ouvrages sont proposés à des prix modérés.

190,00 FF

80,00 FF — UREF / Prix préférentiel : Afrique, Asie, Amérique du Sud, Haïti

REF 59 4273 5



U R E F



9 780861 962907

AUPELF

