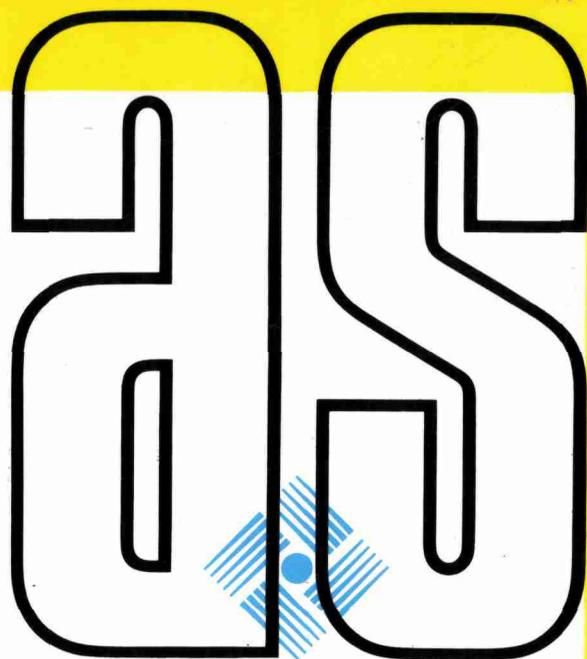


UNIVERSITÉS FRANCOPHONES

Abderrahmane Essaid

LA
LUTTE
ANTI-
ACRIDIEUNE



actualité scientifique

AUPELF

 John Libbey
EUROTEXT
PARIS · LONDRES



LA LUTTE ANTI-ACRIDIE

British Library Cataloguing in Publication Data

La lutte anti-acridienne.

1. Africa. Pests : Migrant insects. Control

I. Essaid, Abderrahmane

632.7076

ISBN 0-86196-290-7

Editions John Libbey Eurotext

6, rue Blanche, 92120 Montrouge, France.

Tél. : (1) 47.35.85.52

John Libbey and Company Ltd

13, Smith Yard, Summerley Street, London SW18 4HR, England

Tél. : (01) 947.27.77

John Libbey CIC

Via Spallanzani 11,

00161, Rome, Italy

Tél. : (06) 862.289

© 1991, Paris

Il est interdit de reproduire intégralement ou partiellement le présent ouvrage – loi du 11 mars 1957 – sans autorisation de l'éditeur ou du Centre Français du Copyright, 6 bis rue Gabriel Laumain, 75010 Paris, France.

LA LUTTE ANTI-ACRIDIENNE

Colloque International sur les perspectives de recherche biologique et chimique dans le cadre de la lutte anti-acridienne

Rabat, Maroc

27 novembre - 2 décembre 1989

Responsable scientifique :

Abderrahmane Essaid (Rabat, Maroc)



Les collections «*Universités francophones*» de l'UREF : Un instrument nouveau pour consolider l'espace scientifique francophone

L'Université des Réseaux d'Expression Française (l'UREF) a créé un ensemble de collections «Universités francophones» qui sont les instruments nécessaires d'une vie scientifique de qualité dans l'espace scientifique francophone.

Fruit de la collaboration de chercheurs du Nord et du Sud, dans le cadre, notamment, des journées scientifiques et des colloques organisés par les réseaux de recherche partagée de l'UREF, ces «Actualités scientifiques» veulent, en consolidant la coopération scientifique entre tous les partenaires de la francophonie, contribuer à la promotion de la recherche en langue française.

Cette nouvelle collection est complétée par une collection de manuels universitaires et par une collection d'ouvrages scientifiques («Sciences en marche»).

Professeur Michel Guillou
Directeur général de l'AUPELF
Recteur de l'UREF

Sommaire

Remerciements.....	VII
Avant-Propos	IX
Préface	XV
Liste des auteurs	XVII
Liste des participants	XIX

Partie I. Etude et modélisation du Cycle Biologique et Dynamique des populations du Criquet Pèlerin ; le point sur la situation acridienne

1. Evolution des invasions de <i>Schistocerca gregaria</i> (Forsk, 1775) au Maroc durant les années 1987 et 1989. A. Arifi (Rabat)	3
2. La lutte anti-acridienne au plan national ; une action permanente : enseignements et propositions. R. Lakhdar (Rabat)	23
3. Organisation de la Lutte anti-acridienne au Maroc. M. Layid (Rabat)	33
4. Caractéristiques morphométriques des populations de <i>Schistocerca gregaria</i> durant l'invasion du Maroc en 1987 et en 1988. A. Boughdad (Rabat)	45
5. L'invasion acridienne en Tunisie et les moyens mis en œuvre pour la combattre. M.H. Dhouibi (Tunis)	53
6. Le Criquet Pèlerin : Enseignements de la dernière invasion et perspectives offertes par la biomodélisation. M. Lecoq (Montpellier).....	71

Partie II. Polymorphisme phasaire des Criquets grégarisables et régulation endocrinienne de leur développement et de leur reproduction

7. Structure des glandes endocrines et chimie des hormones des criquets grégarisables. J. Girardie (Bordeaux).....	101
8. Régulation endocrinienne du développement, de la reproduction et du polymorphisme phasaire. A. Girardie (Bordeaux)	119
9. La régulation hormonale du métabolisme hydrique chez les criquets grégarisables. J. Proux (Bordeaux)	129

10. Polymorphisme phasaire des criquets migrateurs : déterminismes et différences géographiques. S. Fuzeau-Braesch (Orsay)	135
11. Les possibilités des hormones d'insectes dans la lutte anti-acridienne. A. De Loof (Louvain)	141

Partie III. Impact de la lutte acridicide chimique sur la Biologie du criquet et sur l'environnement non cible, notamment sur la faune associée au criquet et sur l'homme

12. Promesses et limites de la lutte chimique dans la stratégie de lutte anti-acridienne. T. Rachadi (Montpellier).....	151
13. Etude de certains aspects de physiotoxicologie d'insecticides de synthèse chez <i>Locusta migratoria</i>. B. Moreteau (Orsay).....	167
14. Caractères écotoxicologiques et impact environnemental Potentiel des principaux insecticides utilisés dans la lutte anti-acridienne. F. Ramade (Orsay).....	179
15. Problématique de l'utilisation des pesticides dans la lutte anti-acridienne au Sahel. Abou Thiam (Dakar)	193
16. Compatibilité des plastiques et des caoutchoucs avec les formulations anti-acridiennes. G. Bruge (Lyon).....	207
17. L'environnement et la lutte anti-acridienne. Les perspectives et contraintes de la recherche. M.N. De Visscher (Montpellier).....	219
18. Effet des insecticides utilisés pour la lutte anti-acridienne au Maroc sur les eaux utilisées pour l'alimentation en eau potable. H. Abouzaid, A. Foutlane, L. Bourchich (Rabat).....	229
19. Problèmes et perspectives de la lutte acridicide. M.L. Bouguerra (Tunisie).....	239

Partie IV. Nouveaux acridicides 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. Philogène (Ottawa)	269
21. Réflexion à propos de la lutte biologique contre les insectes nuisibles. W.A. Smirnoff (Quebec).....	279
22. Entomologie générale : Influence des traitements anti-acridiens sur l'entomofaune de la vallée de Sous (Maroc). W.A. Smirnoff (Québec).....	289
Recommandations.....	303

Remerciements

Sa Majesté le Roi du Maroc, en accordant le Haut Patronage de son Altesse Royale le Prince Moulay Rachid, a montré l'importance qu'Elle attache au fléau acridien et l'intérêt qu'elle porte à ceux qui ont à coeur de participer à la lutte menée pour son élimination. Les organisateurs de la lère Ecole Internationale sur la lutte anti-acridienne ont été particulièrement sensibles à l'honneur qui leur a été fait.

Monsieur le Ministre d'Etat Moulay Ahmed Alaoui, Monsieur le Ministre de l'Education Nationale ainsi que les principaux responsables de son Ministère ont très largement contribué, par les nombreuses facilités qu'ils ont accordées, au succès et à la renommée de l'Ecole Internationale.

Monsieur le Général Ben Slimane coordinateur national de la lutte anti-acridienne et les responsables du PC Central de Rabat, Monsieur Arifi, Directeur de la Protection des Végétaux, et ses principaux collaborateurs ont permis à la manifestation de sortir avec succès du cadre universitaire en accueillant les participants au sein même de leurs organisations opérationnelles, montrant et expliquant en détail tous les rouages complexes mis en oeuvre lors des invasions acridiennes.

D'autres encore, au Maroc, ont permis à l'Ecole Internationale de se dérouler dans des conditions particulièrement favorables. Monsieur le Gouverneur de la Province d'Errachidia en organisant une visite particulièrement appréciée des participants dans sa région qui, peut de temps auparavant, était envahie par les acridiens. Monsieur le Directeur Général de Royal Air Maroc, en accordant des réductions sur les vols RAM ; Monsieur le Directeur Général de la Société Sotrachim, en contribuant à la réalisation matérielle de l'Ecole.

De plus, des aides financières ont été apportées par différents organismes francophones. Ainsi, la CIRUISEF et son président Monsieur Lascombe, sont parvenus à résoudre bien des problèmes avec l'aide de l'AUPELF et de l'UREF Ce sont eux également qui permettront l'impression des compte-rendus dans des conditions tout à fait satisfaisantes.

Le Ministère des Affaires Etrangères à Paris, par l'intermédiaire du PRIFAS de Montpellier, a également contribué au financement des voyages et des frais de séjour des participants africains.

Tous ont fait preuve d'une admirable compréhension et c'est le plus souvent grâce à la qualité des contacts humains qui se sont établis que les problèmes les plus complexes ont pu trouver une solution qu'ils en soient tous très sincèrement remerciés.

A. Essaid
Doyen de la Faculté des Sciences
et Président du Comité d'Organisation

Comité scientifique

- A. Essaid, Doyen de la Faculté des Sciences de Rabat, Maroc.
- B.J.R. Philogène, Doyen de l'Université d'Ottawa, Canada.
- A. Arifi, Directeur de la Protection des Végétaux (DPYCTRF) Rabat.
- P. Aguesse, Faculté des Sciences de Rabat.
- A. Alaoui, Faculté des Sciences de Rabat.
- Kh. Baddouri, Faculté des Sciences de Rabat.
- S. Belcadi, Faculté des Sciences de Rabat.
- A. Benbachir, Faculté des Sciences de Rabat.
- Z. Kadiri, Faculté des Sciences de Rabat.
- M. Snoussi, Faculté des Sciences de Rabat.
- M. Soufiaoui, Faculté des Sciences de Rabat.

Avant-propos

C'est avec un grand plaisir et une réelle satisfaction que j'assiste aujourd'hui à l'ouverture des travaux de la première école d'hiver internationale organisée par la Faculté des Sciences de Rabat, en collaboration avec la CIRUISEF (Conférence Internationale des Responsables des Universités et Institutions Scientifiques et Techniques d'Expression Française) et l'UREF (L'Université des Réseaux d'Expression Française), consacrée aux «perspectives de recherches biologiques et chimiques dans le cadre de la lutte anti-acridienne».

Ma satisfaction est d'autant plus grande que cette école placée sous la présidence de Son Altesse Royale le Prince Moulay Rachid, témoigne à la fois de l'ouverture de nos universités sur le monde grâce à une intense activité de coopération internationale et de leur engagement, de plus en plus déterminé, à s'intégrer dans leur environnement socio-économique régional et national.

Aussi, permettez moi tout d'abord de présenter mes compliments aux organisateurs de cette manifestation scientifique et de remercier tous ceux qui ont bien voulu participer, en venant de loin parfois, pour apporter leur contribution à une meilleure connaissance d'un phénomène qui reste en dépit de son ancienneté, une question d'une brûlante actualité, et un défi posé à toute l'humanité.

Je ne vous cacherais cependant pas que j'ai eu, en considérant l'énorme masse de documents traitant du criquet pèlerin, quelque appréhension sur le bien fondé de cette école. Pour ne citer que quelques exemples, l'académie royale du Maroc a consacré récemment conformément aux hautes directives de son fondateur et protecteur, Sa Majesté le Roi, plusieurs séances de travail sur ce problème et de nombreuses instances internationales (CIRAD/PRIFAS/FAO/SPAAR, etc.) ont tenu de nombreuses rencontres scientifiques en 1988 et 1989, définissant par exemple les thèmes de recherche prioritaires des dix prochaines années, ou traitant de l'impact sur l'environnement de la lutte chimique anti-acridienne ou envisageant les réalités et les perspectives des recherches acridiennes et anti-acridiennes. Mais, en fin de compte, cela ne signifie-t-il pas justement que l'on est bien loin de tout connaître et qu'il reste un très gros effort à fournir pour parvenir à une meilleure compréhension des mécanismes aboutissant aux pullulations et aux invasions par le criquet pèlerin ainsi qu'aux moyens à mettre en œuvre pour y faire face ?

Certes, cela peut également paraître surprenant lorsqu'on se réfère à l'ancienneté du fléau : tout le monde sait qu'il y a plus de 5 000 ans, les invasions de criquets étaient considérées en Egypte comme une «plaie» et chacun sait que depuis la plus haute antiquité les pullulations de criquets sont à l'origine de famines sévères dans les zones arides de la Mauritanie aux Indes, en passant par le Sahel et la Péninsule Arabique.

En dehors des périodes de pullulation, le criquet pèlerin se maintient à l'état endémique dans les pays du Sahel et du Sahara où les conditions climatiques favorables et l'absence de lutte préventive entraînent sa prolifération et sa grégarisation, provoquant des invasions dans les pays limitrophes.

C'est ainsi que le Maroc, depuis le début de ce siècle, a connu 5 invasions : l'avant dernière en date est celle de 1954 qui s'est propagée sur la totalité du territoire marocain.

Depuis octobre 1987, on assiste à une invasion généralisée de toute la moitié nord du continent africain ; cette invasion s'est propagée en 1988, en particulier au Maroc, conduisant à une véritable mobilisation des pays africains concernés pour lutter contre ce fléau. C'est ainsi que 14 millions d'hectares ont dû être traités aux acridicides en 1988 pour un coût global d'environ 140 millions de dollars.

Remarquons que cette mobilisation des pays africains s'est désormais traduite dans les faits par une aide bi- ou multi-latérale entre pays concernés et qu'à ce titre le Maroc, en octobre-novembre 1988, a fourni à certains pays amis une aide importante en moyens humains et matériels. Il faut également souligner l'appel de sa Majesté à la constitution d'une force verte, dotée de moyens appropriés pour relever ce défi. Ainsi, la volonté politique affirmée par les pays victimes du fléau a-t-elle permis d'effacer l'obstacle traditionnel des frontières.

La reprise actuelle de l'invasion par le criquet avait été prévue par les experts pour le printemps 1989, mais différents facteurs, qu'analyseront les spécialistes au cours de cette école, ont fait que ces prévisions se sont révélées inexactes, prouvant une nouvelle fois que nos connaissances de ce ravageur restent encore imparfaites. Il faut donc, sans attendre, entreprendre de nouvelles recherches et améliorer ce que l'on sait de la biologie du criquet et des moyens de lutte à mettre en œuvre pour l'éliminer à plus ou moins long terme.

L'initiative de la Faculté des Sciences de Rabat, de son doyen et de la CIRUISEF de réunir cette Ecole Internationale consacrée aux perspectives de recherches dans le cadre de la lutte anti-acridienne nous apparaît donc comme une contribution de tout premier plan parmi les efforts des pays concernés par les invasions acridiennes. Mais avant d'entreprendre des recherches qui pouvaient être mal «ciblées», le groupe de réflexion universitaire mis sur pied dans le cadre de la mobilisation générale des compétences pour lutter contre le criquet a jugé qu'il était indispensable, dans un premier temps, de faire appel à des experts d'horizons différents et de faire le point exact des connaissances déjà acquises.

Le premier problème qu'il a paru nécessaire d'envisager concernait la biologie du criquet dans ses aspects les plus récents et de connaître les mécanismes de régulation endocrinienne responsables de leur reproduction, de leur développement et de leur polymorphisme phasaire : en effet, le blocage de ses neurosécrétions peut constituer un moyen de lutte particulièrement efficace contre cet acridien et sans danger pour l'environnement.

Le second point à prendre en considération, c'est l'impact des acridicides chimiques de synthèse actuellement utilisés non seulement sur la «cible», mais aussi sur l'environnement non ciblé, notamment sur la faune associée au criquet et sur la santé humaine.

Enfin, le dernier point à envisager mais non le moindre, car peut-être le plus prometteur quant à l'efficacité des moyens de lutte, c'est l'exploration de nouvelles possibilités telles que les substances capables de bloquer la reproduction ou le développement des criquets, ou telles que l'utilisation d'insecticides d'origine végétale ou telle encore que la mise en œuvre de micro-organismes entomopathogènes spécifiques des acridiens.

On le voit, c'est là un très vaste programme, riche en perspectives de recherches dont cer-

taines sont ensuite susceptibles d'être conduites par les laboratoires concernés de la Faculté des Sciences de Rabat. Cette orientation de la recherche scientifique au Maroc démontre que notre université fait l'effort d'orienter au moins une partie de ses activités de recherche vers des problèmes d'intérêt national, recherches que l'on pourrait qualifier de «finalisées» et d'utiles à l'économie du pays.

Il ne faut cependant pas que pour autant la recherche universitaire perde son caractère original : à l'opposé d'autres organismes avec lesquels les laboratoires universitaires s'associent fréquemment, l'université ne cède pas à la contrainte du temps. Les chercheurs universitaires doivent apporter des réponses aux questions posées et contribuer ainsi à l'amélioration des connaissances en abordant les aspects fondamentaux de la recherche qui nécessitent souvent plusieurs années d'efforts avant d'obtenir un résultat. L'université doit constituer le partenaire complémentaire indispensable des organismes chargés de proposer une solution souvent provisoire mais immédiate aux problèmes posés, solution que les recherches universitaires doivent permettre d'améliorer, de préciser et, le cas échéant, de modifier en vue d'une meilleure efficacité à moyen ou à long terme.

Je ne saurais terminer ce discours d'ouverture sans remercier les nombreux participants d'horizons très divers qui ont accepté de collaborer à cette école et de la faire bénéficier de leur expérience. Ce rassemblement de compétences, en outre, n'a pas été effectué au seul bénéfice des marocains car une de ses caractéristiques consiste dans l'invitation de spécialistes d'une dizaine de pays africains amis qui se trouvent très souvent en butte aux problèmes posés par la lutte anti-acridienne.

Il ne fait pas de doute, et ce sera là mon souhait le plus cher, que de cette confrontation d'expériences, de connaissances et de compétences, sortent des perspectives de recherche fort encourageantes telles que la constitution, autour de chercheurs universitaires marocains, de groupes de recherches internationaux et pluridisciplinaires capables, à moyen ou à long terme, d'aboutir à des résultats pratiques grâce à une active coopération scientifique dépassant largement le cadre des frontières politiques traditionnelles.

Taïb Chkili
Ministre de l'Éducation Nationale

Permettez moi tout d'abord d'exprimer, au nom de l'Université Mohammed V, toute notre gratitude et notre reconnaissance à Son Altesse Royale le Prince Moulay Rachid, d'avoir accepté que cette importante rencontre scientifique soit placée sous sa présidence d'honneur. Notre Université consciente du précieux encouragement que représente le geste de Son Altesse Royale, en apprécie toute la portée qu'il peut avoir sur les travaux de cette école.

A Monsieur le Ministre de l'Éducation Nationale, le Professeur Taïb Chkili qui rehausse par sa présidence l'ouverture de cette école, j'adresse mes plus vifs remerciements.

Cette école, dont le thème général porte sur les «Perspectives de recherches biologiques dans le cadre de la lutte anti-acridienne», constitue sans doute, un important événement par rapport à ce brûlant sujet, car elle va permettre durant les prochains jours :

- d'informer et de former
- aux spécialistes de se concerter
- de promouvoir, dans toute la mesure du possible, la coopération dans le domaine de la recherche relative à la lutte anti-acridienne.

Le premier objectif de cette école, l'information et la formation, vise à faire bénéficier des chercheurs, des ingénieurs et des techniciens des pays concernés par le fléau acridien, des connaissances acquises par des chercheurs et spécialistes internationalement connus, dans la lutte anti-acridienne. Les conférences prévues chercheront à mieux faire connaître :

- la biologie du criquet
- les derniers développements en matière de lutte chimique et biologique.
- l'impact des acridicides sur l'environnement.

La concertation constitue le 2^e objectif de cette manifestation qui offre ainsi l'occasion d'échanger les résultats des expériences de chacun et de discuter les points de vue de spécialistes provenant de différents pays.

Le dernier objectif concerne la recherche scientifique dans le domaine qui vous intéresse aujourd'hui et ses applications. Le vœu qu'on peut formuler à cet égard est que cette école puisse aider à la création et au renforcement d'équipes universitaires de recherche pluridisciplinaire, dont les travaux pourront déboucher sur de nouvelles techniques et méthodes de lutte anti-acridienne. Elle pourrait également encourager dans le domaine de la recherche la coopération scientifique régionale et internationale.

Nul doute que pour atteindre ces objectifs, les organisateurs de l'école ont bien pensé et bien agencé entre eux les thèmes constitutifs des différentes journées.

Le 1^{er} thème fera le point de la situation acridienne au moment de l'école. Il donnera lieu également à des exposés sur la modélisation du cycle biologique et sur la dynamique du criquet pèlerin. Les travaux qui seront discutés seront d'une utilité incontestable pour l'établissement de prévisions fiables sur les pullulations des acridiens.

Le deuxième thème sera consacré au polymorphisme phasaire des criquets grégaires et à la régulation endocrinienne de leur développement et de leur reproduction. Le thème donnera sûrement lieu à d'intéressants débats sur la mise au point de nouveaux moyens de lutte contre le criquet.

Le 3^e thème devra traiter de l'impact de la lutte acridicide chimique sur la biologie du criquet et sur l'environnement non cible, notamment sur la faune associée au criquet et sur l'homme.

Enfin les perspectives d'utilisation des produits naturels dans la lutte contre le criquet constitueront le dernier thème du programme de cette manifestation.

Comme on peut le constater, l'Ecole sera pleine de riches enseignements et ses retombées scientifiques, techniques et sur le plan de la coopération, seront multiples. De même, elle permettra à tous les participants, chercheurs, industriels, experts des organismes responsables de la protection des cultures, techniciens, d'envisager ensemble comment une partie de l'humanité pourra mieux s'armer pour affronter de plus en plus efficacement ce fléau naturel et atténuer ses nombreux méfaits.

Avant de terminer, je voudrais adresser mes vives félicitations à la Faculté des Sciences et à la CIRUISEF d'avoir pris l'initiative d'organiser cette école. A tous les participants venant des pays amis, je souhaite la bienvenue et à l'école elle-même un plein succès.

Abdellatif Ben Abdeljlil
Recteur de l'Université Mohammed V

Je me réjouis de participer à cette séance d'ouverture du Colloque «Perspectives de Recherches Biologiques et Chimiques dans le cadre de la Lutte Anti-acridienne» organisé conjointement par la Faculté des Sciences de Rabat et par la CIRUISEF.

Il s'agit d'une des premières manifestations de la Conférence Internationale de Responsables des Universités et Institutions à Dominante Scientifique et Technique d'Expression Française, qui est l'un des réseaux de l'AUPELF-UREF. Celle-ci, se voulant un lieu de collaboration des Facultés des Sciences Francophones, ne pouvait trouver le meilleur thème fédérateur.

L'importance économique et écologique du sujet, mais également son intérêt scientifique - la science la plus fondamentale étant nécessairement impliquée expliquent amplement que nous nous retrouvions aujourd'hui entre scientifiques d'une quinzaine de nations.

Il convient de remercier nos collègues de la Faculté des Sciences de Rabat et en premier lieu son doyen pour l'organisation extrêmement rapide et efficace de cette réunion qui sera, nous le sentons, particulièrement réussie et fructueuse.

Professeur J. Lascombe
Président de la CIRUISEF

Préface

Cette «1^{re} Ecole internationale sur les Perspectives de recherche Biologique et Chimique dans le cadre de la Lutte anti-acridienne» est placée sous la présidence de SAR le Prince Moulay Rachid.

Mais je me dois, de prime abord, présenter mes profondes gratitude et mes sincères remerciements à Sa Majesté le Roi Hassan II que Dieu le Glorifie, pour avoir bien voulu accorder cette présidence, en vouant à son illustre personne mes sentiments de fidélité et de dévouement.

Je remercie au nom de mes collègues et en mon nom, Monsieur le Ministre de l'Education Nationale pour l'honneur qu'il nous fait en présidant cette cérémonie d'ouverture.

Je remercie Monsieur le Général Houssni Benslimane commandant de la Gendarmerie Royale et responsable de la lutte anti-acridienne au Maroc, pour avoir bien voulu nous honorer de sa présence à cette manifestation.

L'Université ne pouvait rester en marge de l'énorme effort qui a été entrepris pour lutter contre le péril acridien. Il n'est pas fortuit que cette Ecole soit organisée à la Faculté des Sciences de Rabat. En effet celle-ci grâce à la compétence de ses équipes de recherche pluridisciplinaires, qui contribuent à résoudre un certain nombre de problèmes posés à l'industrie nationale dans le cadre de nombreux contrats, ne pouvait négliger d'apporter son aide à la lutte anti-acridienne.

Cette Ecole, 1^{re} en son genre, constitue une contribution des universitaires à la recherche de solutions à ce problème. Elle fera le point des connaissances actuelles en matière de criquet en vue de l'élaboration d'un programme de recherche dont le développement pourrait contribuer à l'amélioration des conditions de lutte.

Pour la réussite d'une telle manifestation, il était indispensable de faire appel aux experts internationaux dans ce domaine et aux spécialistes qui participent à la lutte dans les pays touchés par le Fléau.

Cette participation a été rendue possible grâce à l'aide que nous a apportée la CIRUISEF (Conférence Internationale des Responsables des Universités et Institutions à Dominante Scientifique et Technique d'Expression Française) et l'AUPELF (Association des Universités Partiellement ou Entièrement de Langue Française).

Je remercie vivement ces organismes.

Je remercie également le comité d'organisation de cette manifestation, qui s'est dévoué sans compter pour la conception et la mise en place de cette Ecole. Je tiens à préciser que ce comité d'organisation est issu de cellules qui ont été constituées à la Faculté des Sciences de Rabat au lendemain de l'invasion des criquets de 1988 pour réfléchir sur la contribution de notre établissement à ce problème. C'est ainsi que les chercheurs de la Faculté des Sciences ont tenu plusieurs réunions de travail avec les spécialistes de la lutte anti-acridienne du service de la Protection des Végétaux. Je les remercie pour leur aide.

Je souhaite la bienvenue à tous les participants venus des quatre continents.

Mes souhaits de bienvenue vont également aux membres de la CIRUISEF qui ont saisi cette occasion pour tenir leur réunion du bureau dans notre établissement.

Je constate avec satisfaction que toutes les Facultés des Sciences du Maroc ont envoyé au

moins chacune un enseignant chercheur pour participer à cette Ecole. De même sont représentés toutes les Ecoles et tous les Instituts scientifiques intéressés par ce sujet. Je leur souhaite un bon séjour parmi nous.
Je formule enfin tous mes vœux de réussite à cette Ecole.

A. Essaid
Doyen de la Faculté des Sciences de Rabat

Liste des auteurs

- Abouthiam.** Institut des Sciences de l'Environnement, Faculté des Sciences, Université Dakar, Sénégal.
- Abouzaid.** Office National de l'eau potable, Rabat, Maroc.
- Arifi A.** Direction de la Protection des Végétaux des contrôles techniques et de la Répression des Fraudes. Avenue de la Victoire. Immeuble INRA BP 1308, Rabat, Maroc.
- Boughdad A.** Direction de la Protection des Végétaux des contrôles techniques et de la Répression des Fraudes. Avenue de la Victoire, Immeuble INRA, BP 1308, Rabat, Maroc.
- Bouguerra M.L.** Faculté des Sciences, Campus Universitaire, Tunis, Tunisie.
- Bruge G.** Directeur adjoint de l'Ethique et de l'environnement, 14-20, Rue Baizet BP 9163, 69263 Lyon Cedex 09, France.
- Bourchiche.** Office National de l'eau potable, Rabat, Maroc.
- Deloof A.** Laboratoire voor Ontmikkelings – Fysiologie Zoologisch Instituut, Naamsestraat 59, B. 3000 Leuven, Belgique.
- Dhouibi, M.H.** Institut National Agronomique, Tunis, Tunisie.
- Foutlane.** Office National de l'eau potable, Rabat, Maroc.
- Fuzeau-Braesch.** Laboratoire de Biologie de l'insecte, Bâtiment, 443, Université de Paris Sud, 91405 Orsay Cedex, France.
- Girardie A.** Université de Bordeaux I, Avenue des Facultés 33405 Talence, Cedex, France.
- Girardie J.** Université de Bordeaux I, Avenue des Facultés 33405 Talence, Cedex, France.
- Lakhdar R.** Direction de la Protection des végétaux des contrôles techniques et de la répression des Fraudes, Avenue de la Victoire, Immeuble INRA BP 1308, Rabat, Maroc.
- Laied M.** Lieutenant-Colonel de la Gendarmerie Royale, PCC de la lutte anti-acridienne, Royaume du Maroc.
- Lecoq M.** CIRAD/PRIFAS, BP 5035, 34032, Montpellier Cedex, France.
- Moreteau B.** Laboratoire de Zoologie et d'Ecologie Bâtiment 442, Université de Paris-Sud, 91.405 Orsay Cedex, France.
- Philogène BJR.** 32, George Glinski-Ottawa, Ontario, Canada K1N 6N5.

Proux J. Université de Bordeaux I, Avenue des Facultés, 33405. Talence Cedex, France.
Rachadi T. CIRAD/PRIFAS, BP 5035. 34032, Montpellier Cedex, France.
Ramade F. Laboratoire de Zoologie et d'Ecologie, Bâtiment 442, Université de Paris-Sud, 91.405 Orsay Cedex, France.
Smirnoff W.A. 747, Rue Clairmont, Quebec, Sainte-Foy Giv 3'C 6, Canada.
De Visscher M.N. CIRAD/PRIFAS, BP 5035. 34034, Montpellier Cedex, France.

Liste des participants

- Abahal L.** Institut Agronomique et Vétérinaire, BP 6202 Rabat, Agdal, Maroc.
- Abdenbi.** Institut Agronomique et Vétérinaire, BP 6202 Rabat, Agdal, Maroc.
- Abidi M.** Société Sotrachim CIB, Geigy.
- Aboulfaraj S.** Institut Agronomique et Vétérinaire, BP 6202 Rabat, Agdal, Maroc.
- Abou Thiam.** Institut des Sciences de l'Environnement, Faculté des Sciences, Université Dakar, Sénégal.
- Afrass A.** Direction de la Protection des Végétaux des Contrôles Techniques et de la répression des fraudes, avenue de la Victoire, BP 1308 Rabat, Maroc.
- Agader S.** Direction de la Protection des Végétaux des Contrôles Techniques et de la répression des fraudes, avenue de la Victoire, BP 1308 Rabat, Maroc.
- Aguesse P.** Faculté des Sciences, Département de Biologie, Rabat, Maroc.
- Akharass M.** Institut Agronomique et Vétérinaire, BP 6202 Rabat, Agdal, Maroc.
- Aksira M.** Faculté des Sciences de Tétouan, BP 300 Tétouan, Maroc.
- Alaoui A.** Faculté des Sciences, Département de Biologie, Rabat, Maroc.
- Alaoui A.** Direction de la Protection des Végétaux des Contrôles Techniques et de la répression des fraudes, avenue de la Victoire, BP 1308 Rabat, Maroc.
- Arifi A.** Direction de la Protection des Végétaux des Contrôles Techniques et de la répression des fraudes, avenue de la Victoire, BP 1308 Rabat, Maroc.
- Arroub H.** Direction de la Protection des Végétaux des Contrôles Techniques et de la répression des fraudes, avenue de la Victoire, BP 1308 Rabat, Maroc.
- Ashour Yacoub Y.** P.O.Box 16006, Jeddah 21464 Kingdom of Saudi Arabia.
- Augas.** Institut Agronomique et Vétérinaire, BP 6202 Rabat, Agdal, Maroc.
- Azzi A.** Comité National permanent pour la lutte contre le criquet pèlerin, Sidi Al Masni, Tripoli, Libye.
- Baddouri Kh.** Faculté des Sciences, Département de Biologie, Rabat, Maroc.
- Bahjou A.** Faculté des Sciences d'Oujda, Route Sidi Meafi, BP 524, Oujda, Maroc.
- Baou A.** Direction de la Protection des Végétaux des Contrôles Techniques et de la répression des fraudes, avenue de la Victoire, BP 1308 Rabat, Maroc.
- Belcadi S.** Faculté des Sciences, Département de Chimie, Rabat, Maroc.
- Belhboub J.H.** Institut Agronomique et Vétérinaire, BP 6202 Rabat, Agdal, Maroc.
- Belkhadir R.** Ecole Mohamedia des Ingénieurs, avenue Ibn Sina BP 765, Rabat, Maroc.
- Bhen Sikina Toguebaye.** Faculté des Sciences, Université Cheick Amta, DIOP, FANN, Dakar, Sénégal.
- Benabad A.** Faculté des Sciences de Rabat, Département de Chimie, BP 1014 Rabat, Maroc.
- Benarafa.** Faculté des Sciences de Rabat, Département de Chimie, BP 1014 Rabat, Maroc.
- Benazzoune.** Institut Agronomique et Vétérinaire, BP 6202 Rabat, Agdal, Maroc.

- Benazzouz I.** Faculté de Médecine et de Pharmacie, 19 rue Tarik Bnou Ziad, BP 9154 Casablanca, Maroc.
- Benbachir A.** Faculté des Sciences, Département de Chimie, Rabat, Maroc.
- Benchra M.** Direction de la Protection des Végétaux des Contrôles Techniques et de la répression des fraudes, avenue de la Victoire, BP 1308 Rabat, Maroc.
- Ben Gounin.** Institut Agronomique et Vétérinaire, BP 6202 Rabat, Agdal, Maroc.
- Benhalima T.** Chef du Centre National de Lutte anti-acridienne, Ait Melloul par Inezgane, Agadir, Maroc.
- Benkhay A.** Faculté des Sciences de Fès, Dhar Mehrez, BP 1796, Atlas, Fès, Maroc.
- Bennani S.** Institut Agronomique et Vétérinaire, BP 6202 Rabat, Agdal, Maroc.
- Benyoussef.** Faculté des Sciences de Rabat, département de Physique, BP 1014 Rabat, Maroc.
- Bouchdoug.** Faculté des Sciences de Marrakech, Bd d'Asfi, BP 15/S Marrakech, Maroc.
- Boughdad.** Direction de la Protection des Végétaux des Contrôles Techniques et de la répression des fraudes, avenue de la Victoire, BP 1308 Rabat, Maroc.
- Boukhari.** Faculté des Sciences de Rabat, Département de Chimie, BP 1014 Rabat, Maroc.
- Bounfour M.** Direction de la Protection des Végétaux des Contrôles Techniques et de la répression des fraudes, avenue de la Victoire, BP 1308 Rabat, Maroc.
- Bounouh M.** Direction de la Protection des Végétaux des Contrôles Techniques et de la répression des fraudes, avenue de la Victoire, BP 1308 Rabat, Maroc.
- Bourarach Kh.** Institut Agronomique et Vétérinaire, BP 6202 Rabat, Agdal, Maroc.
- Bourarach H.** Institut Agronomique et Vétérinaire, BP 6202 Rabat, Agdal, Maroc.
- Bourchiche L.** Office National de l'Eau Potable, 6 bis, rue Patrice Lumumba, BP Rabat Chella (Labo-Central), Rabat, Maroc.
- Bourass.** Faculté des Sciences de Rabat, Département de Mathématiques, BP 1014 Rabat, Maroc.
- Boutakiout M.** Faculté des Sciences de Rabat, Département de Géologie, BP 1014 Rabat, Maroc.
- Boutaleb H.** Faculté des Sciences de Rabat, Département de Physique, BP 1014 Rabat, Maroc.
- Bouguerra M.H.** Faculté des Sciences, Campus Universitaire, Tunis, Tunisie.
- Brahim Hassane Mohadjir.** Protection des Végétaux, BP 411, D'jamena, Tchad.
- Bruge G.** Directeur adjoint de l'Ethique et de l'environnement, 14-20, rue Baizet, BP 9163, 69263 Lyon Cedex, 09, France.
- Chabaneau.** CIRUISEF, 351, cours de la Libération, 33405 Talence Cedex, France.
- Chakir S.** Institut Agronomique et Vétérinaire, BP 6202 Rabat, Agdal, Maroc.
- Chalouan M.** Faculté des Sciences de Rabat, Département de Géologie, BP 1014 Rabat, Maroc.
- Chadigan.** Institut Agronomique et Vétérinaire, BP 6202 Rabat, Agdal, Maroc.
- Chellaoui.** Institut Agronomique et Vétérinaire, BP 6202 Rabat, Agdal, Maroc.
- Chemseddine M.** Faculté des Sciences, Bd D'Asfi, BP 15/S, Marrakech, Maroc.
- Cherkaoui.** Institut Agronomique et Vétérinaire, BP 6202 Rabat, Agdal, Maroc.
- Chichi.** Institut Agronomique et Vétérinaire, BP 6202 Rabat, Agdal, Maroc.
- Chlaida M.** Faculté des Sciences, BP 6621 Sidi Othman Casa II, Maroc.
- Chlyah H.** Faculté des Sciences de Rabat, Département de Biologie, BP 1014 Rabat, Maroc.
- Chlyeh GH.** Institut Agronomique et Vétérinaire, BP 6202 Rabat, Agdal, Maroc.

Choubani M. Direction de la Protection des Végétaux des Contrôles Techniques et de la répression des fraudes, avenue de la Victoire, BP 1308 Rabat, Maroc.

Daia M. Direction de la Protection des Végétaux des Contrôles Techniques et de la répression des fraudes, avenue de la Victoire, BP 1308 Rabat, Maroc.

De Loof A. Laboratoire voor ontmiikkelings – Fysiologie, Zoologisch Institut Naamsestraat 59, B.3000 Leuven – Belgique.

De Visscher M.N. CIRAD/PRIFAS, BP 5035 – 34034 Montpellier Cedex, France.

Dhouibi. Institut National Agronomique, Tunis, Tunisie.

Eddaoudi M. Institut Agronomique et Vétérinaire, BP 6202 Rabat, Agdal, Maroc.

El Abidi A. Institut d'Hygiène, avenue Ibn Batouta, Rabat, Maroc.

El Autri. Institut Agronomique et Vétérinaire, BP 6202 Rabat, Agdal, Maroc.

El Azzouzzi M. Faculté des Sciences de Rabat, Département de Géologie BP 1014 Rabat, Maroc.

El Bouhairi. Institut Agronomique et Vétérinaire, BP 6202 Rabat, Agdal, Maroc.

El Fassi O. Faculté des Sciences de Rabat, Département de Physique, BP 1014 Rabat, Maroc.

El Hachimi Z. Faculté des Sciences de Rabat, Département de Biologie, BP 1014 Rabat, Maroc.

El Hani A. Direction de la Protection des Végétaux des Contrôles Techniques et de la répression des fraudes, avenue de la Victoire, BP 1308 Rabat, Maroc.

El Hassani N. Institut Agronomique et Vétérinaire, BP 6202 Rabat, Agdal, Maroc.

Essaid A. Faculté des Sciences de Rabat, Département de Physique (Membre de la CIRUISEF) BP 1014 Rabat, Maroc.

Essassi E.M. Faculté des Sciences de Rabat, Département de Chimie, BP 1014 Rabat, Maroc.

Fakaba Diakite. Direction du Service National de la Protection des Végétaux, Ministère de l'Agriculture, Bamako, Mali.

Fall. CIRUISEF, 351 cours de la Libération, 33405 Talence Cedex, France.

Faraj C. Institut Agronomique et Vétérinaire, BP 6202 Rabat, Agdal, Maroc.

Fkih Tetouani S. Faculté des Sciences de Rabat, Département de Chimie, BP 1014 Rabat, Maroc.

Fralval A. Institut Agronomique et Vétérinaire, BP 6202 Rabat, Agdal, Maroc.

Frouji. Ecole Mohammadia des Ingénieurs, BP 765 Agdal, Rabat, Maroc.

Fuzeau-Braesch S. Laboratoire de Biologie de l'Insecte, Bât. 443, Université de Paris Sud, 91405 Orsay Cedex, France.

Galledou. Direction de la Protection des Végétaux, BP 180, Nouakchott, Mauritanie.

Ghazouani A. Institut Agronomique et Vétérinaire, BP 6202 Rabat, Agdal, Maroc.

Girardie J. Universitaire de Bordeaux I, av. des Facultés, 33405 Talence Cedex, France.

Girardie A. Université de Bordeaux I, av. des Facultés, 33405 Talence Cedex, France.

Graf P. Direction de la Protection des Végétaux des Contrôles Techniques et de la répression des fraudes, avenue de la Victoire, BP 1308 Rabat, Maroc.

Hakiki. Faculté des Sciences de Rabat, Département de Chimie, BP 1014 Rabat, Maroc.

Hamdaoui A. Faculté des Sciences, Bd d'Asfi, BP 15/S, Marrakech, Maroc.

Hammoumi. Institut Agronomique et Vétérinaire, BP 6202 Rabat, Agdal, Maroc.

Hanafi F. Institut Agronomique et Vétérinaire, BP 6202 Rabat, Agdal, Maroc.

Hassar M. Institut d'hygiène, av. Ibn Batouta, Rabat, Maroc.

Hmimina M. Institut Agronomique et Vétérinaire, BP 6202 Rabat, Agdal, Maroc.

Hormatallah. Institut Agronomique et Vétérinaire, BP 6202 Rabat, Agdal, Maroc.

Houmy. Institut Agronomique et Vétérinaire, BP 6202 Rabat, Agdal, Maroc.

Issoufou Kouada. Université de Niamey, Faculté des Sciences, BP 10662, Niamey, Niger (Membre de la CIRUISEF).

Idrissi L. Institut d'hygiène, av. Ibn Batouta, Rabat, Maroc.

Jaaidi B. Faculté des Sciences de Rabat, Département de Géologie, BP 1014 Rabat, Maroc.

Jebbour F. Direction de la Protection des Végétaux des Contrôles Techniques et de la répression des fraudes, avenue de la Victoire, BP 1308 Rabat, Maroc.

Joseph Tawfiq. Deputy D.G. Locusts et Agroaviation Department University of Agriculture, Dokki, Cairo, Egypte.

Kabil. Faculté des Sciences d'El Jadida, El Jadida, Maroc.

Kadiri Z. Faculté des Sciences, Département de Biologie, Rabat, Maroc.

Kessabi. Institut Agronomique et Vétérinaire, BP 6202 Rabat, Agdal, Maroc.

Kuenhold. Direction de la Protection des Végétaux des Contrôles Techniques et de la répression des fraudes, avenue de la Victoire, BP 1308 Rabat, Maroc.

Knidiri M. Faculté des Sciences, Bd d'Asfi, BP 15/S, Marrakech, Maroc (Membre de la CIRUISEF).

Knouzi N. Faculté des Sciences d'El Jadida, El Jadida, Maroc.

Labraimi M. Faculté des Sciences, Département des Sciences de la Terre, av. Ibn Batouta, BP 1014 Rabat, Maroc.

Laghrissi F. Ecole Mohammedia des Ingénieurs, BP 765 Rabat, Maroc.

Lahraiki. Institut Agronomique et Vétérinaire, BP 6202 Rabat, Agdal, Maroc.

Lahyani B. Direction de la Protection des Végétaux des Contrôles Techniques et de la répression des fraudes, avenue de la Victoire, BP 1308 Rabat, Maroc.

Lakhdar R. Direction de la Protection des Végétaux des Contrôles Techniques et de la répression des fraudes, avenue de la Victoire, BP 1308 Rabat, Maroc.

Lassana Soumare. OCLALAV, BP 1066, Dakar, Sénégal.

Lascombe J. CIRUISEF, 351 cours de la Libération, 33405 Talence Cedex, France (Président de la CIRUISEF).

Lecoq M. CIRAD/PRIFAS, BP 5035, 43032 Montpellier Cedex, France.

Mahtaj. Institut Agronomique et Vétérinaire, BP 6202 Rabat, Agdal, Maroc.

Malki. Faculté des Sciences, BP 5366 Maârif, Casablanca, Maroc.

Mantrach. Faculté des Sciences, Département de Physique av. Ibn Batouta, BP 1014 Rabat, Maroc.

Mazih. Institut Agronomique et Vétérinaire, BP 6202 Rabat, Agdal, Maroc.

M'Bainayel S. Direction des ressources en eau et de la Météorologie (DREM) BP 420 Djamena, Tchad.

Medkouri. Direction de la Protection des Végétaux des Contrôles Techniques et de la répression des fraudes, avenue de la Victoire, BP 1308 Rabat, Maroc.

Merzouk S. Institut Agronomique et Vétérinaire, BP 6202 Rabat, Agdal, Maroc.

Mesnaoui Kh. Faculté des Sciences, Département de Mathématiques et Informatiques, av. Ibn Batouta, BP 1014 Rabat, Maroc.

M'Hamdi. Institut Agronomique et Vétérinaire, BP 6202 Rabat, Agdal, Maroc.

Mohssine E.H. Institut Agronomique et Vétérinaire, BP 6202 Rabat, Agdal, Maroc.

Moreteau B. Laboratoire de Zoologie et d'Ecologie, Bât. 442, Université de Paris Sud, 91405 Orsay Cedex, France.

Nadouri J. Institut Agronomique et Vétérinaire, BP 6202 Rabat, Agdal, Maroc.

Naji S. Ecole Mohammadia d'Ingénieurs, BP 765 Rabat, Maroc.

Najim L. Faculté des Sciences, Département de Biologie, av. Ibn Batouta, BP 1014 Rabat, Maroc.

Ouagalidi F. Direction de la Protection des Végétaux des Contrôles Techniques et de la répression des fraudes, avenue de la Victoire, BP 1308 Rabat, Maroc.

Ouhssin. Institut Agronomique et Vétérinaire, BP 6202 Rabat, Agdal, Maroc.

Perdu. CIRUISEF, 351 cours de la Libération, 33405 Talence Cedex, France.

Philogène B.J.R. 32 George Glinski, Ottawa, Ontario, Canada K1N6N5.

Proux J. Université de Bordeaux, avenue des Facultés, 33405 Talence Cedex, France.

Rachadi. CIRAD/PRIFAS, BP 5035 – 34032 Montpellier Cedex, France.

Raissouni. Institut Agronomique et Vétérinaire, BP 6202 Rabat, Agdal, Maroc.

Ramade F. Laboratoire de Zoologie et d'Ecologie, Bât. 442, Université de Paris Sud, 91405 Orsay Cedex, France.

Ramzi M. Institut Agronomique et Vétérinaire, BP 6202 Rabat, Agdal, Maroc.

Rifi Temsamani Kh. Faculté des Sciences, BP 300 Tétouan, Maroc.

Rohi L. Institut Agronomique et Vétérinaire, BP 6202 Rabat, Agdal, Maroc.

Saghi M. Faculté des Sciences, Département de Biologie, av. Ibn Batouta, BP 1014 Rabat, Maroc.

Saidi Idrissi M. Faculté des Sciences, Département de Chimie, av. Ibn Batouta, BP 1014 Rabat, Maroc.

Salah Bennani. Direction de la Protection des Végétaux des Contrôles Techniques et de la répression des fraudes, avenue de la Victoire, BP 1308 Rabat, Maroc.

Sanou Moussa. AGRHYMET/CILSS, BP 11011, Niamey, Niger.

Sebti M. Faculté des Sciences, Département de Physique, av. Ibn Batouta, BP 1014 Rabat, Maroc.

Sedrati M. Institut Agronomique et Vétérinaire, BP 6202 Rabat, Agdal, Maroc.

Sefiani A. Institut Agronomique et Vétérinaire, BP 6202 Rabat, Agdal, Maroc.

Sefiani M. Institut Agronomique et Vétérinaire, BP 6202 Rabat, Agdal, Maroc.

Sehhar E.A. Institut Agronomique et Vétérinaire, BP 6202 Rabat, Agdal, Maroc.

Sellam E.H. Institut Agronomique et Vétérinaire, BP 6202 Rabat, Agdal, Maroc.

Serhane. Institut Agronomique et Vétérinaire, BP 6202 Rabat, Agdal, Maroc.

Smirnoff W.A. 747, rue Clairement, Quebec-TE-FDY 9IV 3'C6, Canada.

Smoussi M. Faculté des Sciences, Département des Sciences de la Terre, Rabat, Maroc.

Souabi S. Faculté des Sciences, Ezzeitoun, route d'El Hajeb, BP 4050 Beni M'hamed, Meknès-Maroc.

Soulaimani R. Institut d'hygiène, av. Ibn Batouta, Rabat, Maroc.

Soufiaoui M. Faculté des Sciences, Département de Chimie, Rabat, Maroc.

Stiki A. Direction de la Protection des Végétaux des Contrôles Techniques et de la répression des fraudes, avenue de la Victoire, BP 1308 Rabat, Maroc.

Suizi A. Faculté des Sciences, BP 401, Kénitra, Maroc.

Trika. CIRUISEF, 351 cours de la Libération, 33405 Talence Cedex, France (Membre de la CIRUISEF).

Wilers B. Direction de la Protection des Végétaux des Contrôles Techniques et de la répression des fraudes, avenue de la Victoire, BP 1308 Rabat, Maroc.

Zador. CIRUISEF, 351 cours de la Libération, 33405 Talence Cedex, France (Membre de la CIRUISEF).

Zemmouri. Institut Agronomique et Vétérinaire, BP 6202 Rabat, Agdal, Maroc.

Zyad. Faculté des Sciences, Département de Chimie, av. Ibn Batouta, BP 1014 Rabat, Maroc.

PARTIE I

Etude et modélisation du cycle biologique et dynamique des populations du criquet pèlerin. Le point sur la situation acridienne

1

Evolution des invasions de *Schistocerca gregaria* (Forsk, 1775) au Maroc durant les années 1987 et 1989

A. ARIFI

DPVCTRF, BP 1308, Rabat, Maroc

Introduction

Depuis le début du siècle, le Maroc a connu six cycles d'invasions d'ampleur variable par le criquet pèlerin, *Schistocerca gregaria*. De 1914 à 1988, le Maroc a été envahi 33 fois par ce fléau.

Des essaims se sont souvent cantonnés dans le Sud et le Centre du pays, mais des cas d'invasions généralisées sont rapportés, à titre d'exemple les années 1918-19; 1929-30 et 1954-55 (Rungs, 1966). Les invasions antérieures furent en général caractérisées par la lenteur et l'échelonnement des arrivées d'essaims ; ce qui a facilité la lutte.

Le dernier cycle d'invasion, amorcé en octobre 1987, trouve son origine dans les deux cas suivants :

- L'insuffisance très marquée de la lutte préventive. En effet le long cycle de sécheresse sévissant dans les pays situés dans les zones grégarigènes a décimé les populations acridiennes, et a réduit l'acuité de la problématique acridienne. La lutte bien menée par l'OCLALAV, jusqu'à la fin des années 70 est devenue aléatoire depuis 1980 pour des considérations financières : diminution de l'enveloppe financière provenant des contributions des Etats-membres, retrait de l'appui financier de la France et du PNUD en 1985-86.

- Le retour des conditions écologiques favorables au niveau des foyers et aires de grégarisation : les reproductions de 1986 dans la partie occidentale de la Mer Rouge ont donné des essaims de criquets dont la grande majorité s'est dirigée vers le Soudan et l'Ethiopie ; les reproductions hivernales dans cette région en fin 1986 – début 1987, et estivales dans les pays du Sahel favorisées par une pluviométrie abondante et précoce ont

été à l'origine de migrations importantes d'essaims en octobre 1987 vers l'Afrique du Nord-Ouest.

L'invasion acridienne, dont le Maroc a fait l'objet en 1987 et surtout en 1988 rappelle par son ampleur et la brutalité de l'irruption des essaims, les invasions les plus graves subies par le passé.

Invasions du Maroc par le Criquet Pèlerin

Depuis l'automne 1987 jusqu'au mois de mars 1989, le Maroc a dû faire face à trois campagnes de lutte anti-acridienne. Chaque invasion, ayant des caractéristiques spécifiques, a impliqué des approches de stratégies nuancées et des adaptations particulières des moyens mis en oeuvre dans la lutte.

L'invasion de l'automne 1987

Les premières signalisations d'incursions de criquet pèlerin au Maroc, communiquées au Ministère de l'Agriculture et de la Réforme Agraire le 17 octobre 1987 proviennent de la région d'Al-Mehbès à quelques dizaines de kilomètres des frontières algérienne et mauritanienne. A partir du 25 octobre, la région de Figuig a reçu les premiers vols importants pénétrant par les voies de Béchar et Aïn Sefra en territoire algérien.

Le 26 octobre 1987 des signalisations inquiétantes parviennent de la localité de Tazouguerte entre les villes d'Errachidia et Boudnib. D'autres essaims sont signalés dans la région de M'Hamid le 28 octobre. Le 30 du même mois, des essaims ont atteint Zagora, Tazarine et Foum Zguid. Les régions de Tata, de Guelmim et de Bouarfa sont envahies à leur tour dès le début de novembre par les criquets. Ainsi, en moins de 10 jours après la première signalisation d'Al-Mehbès, tout l'axe du territoire national allant de Bouarfa à Tan-Tan a été infesté par des essaims. A partir du 10 novembre, d'autres essaims sont signalés dans les provinces sahariennes : Tichla, Awserd, Gueltat-Zemmour et Smara, où des précipitations importantes sont tombées pendant la dernière décade du mois d'octobre (comm. prospecteurs); ce qui a démarré le cycle végétatif des ressources alimentaires du criquet dans ces régions.

Axes d'infiltration des essaims

La connaissance des axes de pénétration des essaims et leur progression à l'intérieur des zones envahies a toujours constitué une préoccupation majeure des organisateurs des opérations de la lutte anti-acridienne.

La compréhension des déplacements des essaims permet en effet de mieux organiser les équipes de prospections et de déployer les moyens de traitement dans les localités les plus visitées par les essaims. A partir des signalisations quotidiennes, il a été permis de tracer les axes les plus importants que les essaims semblent privilégier.

Région d'Errachidia

Pour la zone couverte par le Poste de commandement d'Errachidia, les infiltrations des criquets ont débuté le 26 octobre 1987 et se sont arrêtées le 22 novembre 1987. Suivant les directions cardinales, les axes empruntés par les criquets sont les suivants :

- Sud-Ouest → Nord-Est : les essaims pénètrent par la zone d'Alnif, Mcissi, Fezou et Oum-Jrane. A partir de cette zone ils se dirigent vers Tinjdad, Mellab et Goulmima. Les essaims continuent leurs déplacements pour atteindre finalement la zone d'Amellago et Tadighoust.

- Sud-Est → Nord-Ouest : les essaims vont de Boudnib Tazougart vers Errachidia et Gourrama pour enfin atteindre Rich.

- Est → Ouest : les essaims en provenance de Talsint, transitent par Gourrama pour atteindre Rich.

Près des 2/3 des essaims signalés proviennent de la région d'Alnif.

Région d'Ouarzazate

Les premiers vols d'essaims sont signalés à Tagounit le 26 octobre 1987 en provenance de M'Hamid El-Ghozlane. Les essaims atteignent Zagora dès le 30 octobre 1987.

La progression des essaims à partir de Zagora s'est effectuée selon trois directions :

- Nord → Est : vers l'Est de Tazzarine et Taghbalt.

- Sud → Ouest : vers la vallée de Bourbia, El-Merja et Blida.

- Sud → Nord : le long de la vallée du Drâa vers le Sud d'Ouarzazate.

Quant aux essaims en provenance de l'Oued-Drâa, il se dirigent vers Agadir Tissint, Akka - Irhane, Foum Zguid et Zaouiate Sidi Abdenbi. Les vols localisés à Sidi Abdenbi n'ont pu traverser la chaîne du Jbel Bani, il en est de même pour les essaims de Foum Zguid que la chaîne montagneuse a arrêtés. Les foyers signalés du Nord de Foum Zguid à Allougoume proviennent soit du Sud-Ouest par le couloir entre Tata - Akka Iguerme en remontant vers le Nord-Est, soit par l'Est après avoir remonté au niveau du massif de Bouasser. De là, ils atteignent Foum El Oued puis Allougoume. Les essaims envahissant la région de Tazzarine proviennent soit d'Alnif, soit de Zagora à travers le couloir d'Iminouassif.

A partir de la fin du mois d'octobre jusqu'à la fin du mois de novembre, aucune signalisation de pénétration d'essaims n'est notée. En décembre, quelques infiltrations se sont produites à partir de la province de Tata.

Région de Tata

Les pénétrations des essaims se sont faites surtout du Sud-Est à partir de :

- Foum Tangarfa, Oumatifis et Foum Alguime en direction de Tata. Aaddana, Taffagounte vers Akka.

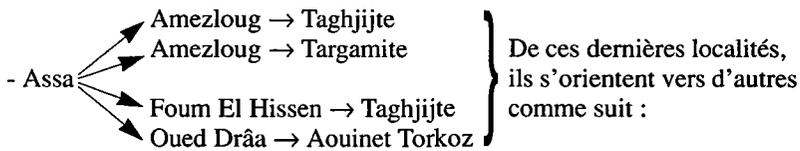
- Foum lâacher, Tuisgui Remz en direction de Foum El Hissen.

Région de Guelmim

En ce qui concerne les provinces couvertes par le Poste de commandement de Guelmim, la pénétration des essaims s'est opérée par les différents cols des Jbels ouarkiz et Bani.

Pour la province de Guelmim, les principaux axes empruntés par les essaims sont :

- Zag → Assa



- Aouinat Torkoz → Taïdalt
- Taskala → Amane Aït Oussa → Taïdalt
- Taïdalt → Borj Tiglit → Ras Agouyam
- Taskala → Tighlit → Ras Agouyam
- Taghjijt → Aday → Bouizakarne → Tlat Lakhsass
- Rass Agouyame → Tarhat → Labiar → Plage blanche.
- Plage blanche → Ras Tarf → Ksabi.
- Aït Aoussa → Khneg lahmoum → labiar.

Au niveau de la province de Tan-Tan, les infiltrations d'essaims ont suivi les directions suivantes :

- M'sied → Tilimzoune → Oued Drâa → Aït Aoussa.
- M'sied → Tilimzoune → Oued Drâa → Aourioura.
- Oued Chbika → Tan-Tan Plage → Embouchure Oued Drâa.

La province de Tiznit a été alimentée à partir des axes suivants :

- Oued Tamanar → Izerbi.
- Izerbi Tarsouat → Tafraout → Aït Abdellah.
- Assif N'int → Affela Ighir → Tafrouat.
- Izerbi → Ait Ouafka Tifermit → Anzi, ou → Ras Mouka → Tiznit.
- Jemaa N'Tighirt → Aït Ouafka.

Provinces sahariennes

Les essaims provenant de la Mauritanie et de l'Algérie, convergent vers le triangle Smara - Boucraa et Izik Hagounia. Ces essaims s'orientent par la suite vers le Nord en direction de l'Oued Drâa.

Bouarfa

Les infiltrations enregistrées ont transité par Aïn Chair. Leur progression a été interrompue par la chaîne montagneuse de Jbel Lakhdar. Un autre couloir est constitué par l'axe Tniet Zait et Mâadar El Kabch. Du côté frontalier Est, les essaims se sont déplacés selon trois directions :

- entre la localité de Figui et Jbel Laamour.
- entre la localité d'Ich et Bab Rouach. Ce couloir est orienté vers Bouarfa par Jbel Klakli.
- par la cuvette de Chott de Tigri.

Durée de l'invasion automne 1987

A partir du mois de novembre 1987 tout l'axe allant de Bouarfa à Tan-Tan a fait l'objet d'incursions d'essaims de criquets. L'échelonnement des infiltrations a été variable selon les régions (Tableau I) .

Les invasions les moins importantes ont concerné la région de Bouarfa où aucun foyer de criquets n'a été observé depuis le 13 novembre 1987. L'arrêt des infiltrations pour la zone d'Errachidia a été noté à partir du 22 novembre. Les traitements réalisés au-delà de cette date n'ont concerné que des foyers résiduels couvrant de très faibles superficies, ils ont été achevés le 11 décembre 1987.

La région d'Ouarzazate a vu cesser les infiltrations de criquets à partir du 12 novembre. Les traitements se sont néanmoins échelonnés durant tout le mois de novembre. De ce qui précède on peut affirmer que pour les régions de Bouarfa, d'Errachidia et de Ouarzazate l'invasion a été de courte durée oscillant entre 13 à 27 jours.

La zone couverte par le Poste de commandement de Tata a subi des infestations importantes au mois de décembre, les superficies touchées par les essaims sont trois fois plus importantes que celles inventoriées au mois de novembre.

Les opérations de lutte contre les adultes ont duré d'une façon presque continue jusqu'au 16 janvier 1988. Au-delà de cette date, les traitements engagés n'ont concerné que de petits foyers résiduels.

La région de Guelmim, a connu une invasion ininterrompue jusqu'au 14 janvier 1988. Après un mois d'accalmie les infiltrations ont repris à partir du 13 février 1988. (Tableau I).

En conclusion l'invasion acridienne subie par le Maroc en octobre 1987 a été limitée dans le temps pour les régions de Bouarfa, Errachidia et Ouarzazate (13 à 27 jours), assez longue pour la zone de Tata (plus de deux mois), très étalée pour Guelmim (trois mois). Pour les zones sahariennes les infiltrations repérées au mois de novembre, n'ont pu être traitées en totalité, vu l'étendue du territoire. Les vagues d'essaims ont continué à progresser vers le Nord en direction de l'Oued Drâa, durant les mois de décembre, de janvier et de février 1988.

Les populations acridiennes, qui ont envahi le Maroc durant l'automne 1987, sont composées d'adultes immatures dans les régions de Bouarfa, d'Errachidia et de Ouarzazate.

Tableau I. Durées de l'invasion 1987-1988.

régions	début de l'invasion	fin de l'invasion	durée en jours
Bouarfa	1/11/1987	13/11/1987	13
Errachidia	26/10/1987	22/11/1987	27
Ouarzazate	26/10/1987	12/11/1987	17
Tata	3/11/1987	16/1/1988	68
Guelmim	1/11/1987 13/2/1988	14/1/1988 27/2/1988	90
Provinces Sahariennes	10/ 11/1987	nd*	nd*

* : non déterminé.

Pour la zone de Guelmim, le taux de maturité des essaims estimé à 25% au début de l'invasion a évolué rapidement pour atteindre 75% en novembre et en décembre. Au niveau de Tata et des provinces sahariennes les essaims sont en majeure partie formés d'individus mûres. La ponte a débuté dès la 2^e quinzaine de novembre 1987 dans l'Oued Drâa et les zones de Guelmim, de Laayoune, de Dakhla et de Smara.

Invasion du printemps-été 1988

Axes de pénétration

Les itinéraires empruntés par les essaims, se récapitulent comme suit :

Errachidia et Ouarzazate

Les infiltrations d'essaims dans la région d'Errachidia ont débuté le 7 mars 1988 et ont duré 1 mois. Elles ont été continues sur l'axe Aïn Chouatar - Boudenib, discontinues sur les axes d'Alnif et Taouz avec une période de répit entre le 19 et le 26 mars 1988. Les superficies infestées durant cette invasion ont pu être évaluées à près de 135 000 ha. Les axes Aïn Chouatar Boudenib et Alnif Saghro englobent près de 70% des superficies infestées, le reste se localise dans les couloirs de Taouz et les environs de Gourrama. Les populations de criquets sont composées d'adultes mûres, dont la mobilité réduite a facilité les traitements de destructions qui se sont échelonnés du 9 mars au 16 avril 1988. Au-delà de cette date, les interventions n'ont porté que sur de très faibles superficies.

Pour la zone d'Ouarzazate, les infiltrations d'essaims mûres ont commencé au début du mois de mars. Les criquets empruntent les mêmes couloirs que ceux utilisés en automne 1987. Les infestations ont été plus importantes au mois d'avril, les superficies touchées sont estimées à plus de 150 000 ha.

Tata - Guelmim

Dans la zone de Tata les pénétrations de criquets se sont faites surtout par les axes Sud-Ouest de Tizgui Remz – Ideldel – Tafagount et par l'Est : Faija Akka Ighane – Tata. A partir du 13 avril aucune incursion du criquet pèlerin n'eut lieu.

En ce qui concerne les provinces couvertes par le PC de Guelmim la pénétration des essaims s'est opérée par les différents cols du Jbels Ouarkiz et Bani.

Les axes empruntés sont les mêmes que ceux de l'automne 1987. 99% des effectifs de criquets prélevés sont des adultes mûres. Le maximum des infiltrations s'est effectué au mois de mars. Les opérations de traitement ont cessé à partir du 15 avril 1988.

Provinces sahariennes

A partir du 9 mars 1988, plus de 10 essaims sont signalés à Guelat Zemmour. En général ces vols se dirigent vers le Nord-Ouest du Maroc.

Bouarfa - Oujda

Les essaims qui ont envahi les provinces de l'oriental au printemps ont pénétré à Bouarfa par le côté frontalier Sud au niveau Tafe Jaght et de Oued Jdid.

L'infiltration pour Oujda s'est faite par l'axe de Jnane Krater vers Fourchal. L'invasion a concerné en totalité le cercle de Jerrada.

Durée de l'invasion

Les conditions climatiques ayant prévalu au Nord de la Mauritanie, du Mali et des régions environnantes ont favorisé le développement des larves issues des reproductions hivernales. Les prospections effectuées au mois de février 1988 au Nord de la Mauritanie ont révélé une forte infestation des larves couvrant au moins 300 000 ha.

Au cours du printemps et de l'été 1988, des invasions acridiennes, associées à l'émergence des populations autochtones, se sont étalées sur des durées oscillant entre 20 et 107 jours (Tableau II).

Pour toutes les régions, les invasions ont commencé dès la première semaine de mars.

Dans la région d'Oujda, l'invasion a cessé dès le 24 avril.

Quant aux autres régions, elles ont continué à être envahies par des criquets jusqu'au mois de juin, cas de Tata, de Bouarfa et des provinces sahariennes ; ou de juillet, cas d'Errachidia et de Guelmim. Des accalmies de durées différentes sont cependant observées en avril et en mai (Tableau II).

L'invasion de l'automne-hiver 1988-1989

Le Maroc a été de nouveau confronté à une invasion acridienne beaucoup plus brutale que celles de l'automne 1987 et du printemps 1988.

Tableau II. Durée de l'invasion durant le printemps et l'été 1988.

régions	début de l'invasion	fin de l'invasion	durée en jours
Errachidia	7/3/1988 19/5/88	16/4/1988 8/7/1988	90
Ouarzazate	7/3/1988 15/5/1988	26/4/1988 11/7/1988	107
Tata	5/3/1988 19/5/1988	13/4/1988 25/6/1988	76
Guelmim	1/3/1988 18/5/1988	18/4/1988 12/7/1988	103
Bouarfa	9/3/1988 28/5/1988	24/4/1988 26/6/1988	75
Oujda	4/4/1988	24/4/1988	20
Provinces Sahariennes	6/3/1988 8/5/1988	19/4/1988 18/6/1988	85

Axes de pénétration

Région de Guelmim

Les températures relativement élevées en automne (25 à 30°C) ainsi que les vents d'Est ont favorisé les déplacements des essaims à très haute altitude dépassant parfois 2000 m et parcourant des distances allant à plus de 60 km/jour. Les passages empruntés par les essaims au niveau des provinces couvertes par le PC de Guelmim sont les suivants :

- Province de Tan-Tan

Les essaims s'envolent selon deux couloirs, à partir de Oued Chbika → Tan-Tan Plage → embouchure Oued-Drâa et à partir de Tilimzoune → Aït Aoussa → embouchure Oued-Drâa.

- Province de Guelmim

Les axes empruntés sont moins nombreux que ceux des autres campagnes. Deux directions principales ont été notées : de la plage blanche vers d'une part Sidi Ouerzeg, et d'autre part vers Ras Tarf → Sbouya → Mesti-Tioughza.

- Province de Tiznit

Les essaims arrivent à la plaine de Tiznit soit par Sidi Ifni et Aglou, soit par Tioughza.

La répartition des zones infestées relevant du PC de Guelmim se présente comme suit : 74% se trouvent à l'Ouest de Tiglit ; 18% entre Tiglit, Aouinat Torkoz et Tamoumout ; 8% Est Aouinat Torkoz.

Région de Tata

Les principaux couloirs de pénétrations sont situés au Sud de la Province.

Les essaims progressent vers Tata en provenance de Foum Tangarfa, Oumatifis et Foum Alguime. La zone de Foum El Hissen est alimentée à partir de Ideldel, Foum Lâachar et Tuizgui Remz.

Quelques essaims se sont infiltrés soit par l'Est de la province par l'axe Faija - Akka Ighane soit par l'Ouest par Taghjijt - Taguojgalt Tamanart.

Région de Taroudant et d'Agadir

Les essaims qui ont déferlé sur la province de Taroudant proviennent des quatre axes suivants :

- Axe Tagmout → Ighrem → Taroudant
- Axe Foum Aoujou ou Foum Amaghou → Issafen → Ighrem → Taroudant
- Axe Azagharmi → Taroudant
- Axe Taliouine → Aoulouz et El Faïd

Pour la province d'Agadir on a pu noter deux axes principaux :

- Axe Tafraout → Aït Baha → Biougra par Iminakouren
- Axe Oued Massa → plaine de Massa → Chtouka.

Région d'Ouarzazate

L'invasion acridienne s'est déclarée à partir du 10 octobre 1988. En moins d'une semaine toute la zone relevant du PC d'Ouarzazate a été infestée. Les essaims ont évolué selon les axes suivants :

- A partir de M'Hamid

- vers le Nord le long de la vallée du Drâa et d'autres couloirs à l'Est.
- vers l'Ouest et le Nord-Ouest en direction de Fom Zguid. A partir de cette localité les criquets ont progressé vers le Nord, en passant par Allougoum puis la vallée de Tagragra.

- A partir de Taghbalt

- vers Tazarine, puis le Nord-Ouest et l'Ouest vers Nkob.

- A partir de Tinghir

Les essaims observés à ce niveau provenaient de l'Est et du Sud-Est. Ils progressent à partir de Tinghir vers l'Ouest pour arriver à la plaine de Ouarzazate en passant par Skoura.

Région d'Errachidia

L'apparition des premiers essaims a été signalée le 9 octobre 1988. Les couloirs empruntés sont les mêmes que ceux de la campagne printanière. Les zones les plus infestées sont enregistrées au niveau de l'axe SW-NE correspondant aux localités de Tinjdad - Tourouz, Ifegh - Amellage - Alnif, Oum Jnane et Fezou . Les superficies touchées sont évaluées à 67 000 ha soit 53% du total des superficies infestées. L'axe Boudenib, Kaddoussa et Talbidate englobe 32% des zones infestées. L'axe Taouz, peu actif, ne représentent que 15% des zones infestées.

Régions de Laayoune et Dakhla

Les infiltrations des criquets pèlerins ont été signalées le 29 septembre 1988 dans le secteur de Bir-Guendouz. L'origine des essaims qui ont pénétré au Sahara provient de l'Est : 49% des essaims signalés, du Sud : 30% et du Nord-Est : frontière maroco-algérienne 19%.

Missour

Les pénétrations dans la zone de Missour se sont opérées par Oued Zerionati, Nif ziane et Hassi El Ahmar, Meslakh et Bou Reddine.

Bouarfa

Les pénétrations ont eu lieu d'une part par Figuig à travers la localité de Zouz Fana et d'autre part à partir de Boudenib par la vallée de Tazougert jusqu'à Fej Errih.

Les zones les plus infestées relèvent du cercle de Bani-Tadjit plus spécialement les communes de Talsint : 20 000 ha infestés et de Tadjit: 14 000 ha. La commune la moins infestée est celle de Figuig : 240 ha.

Oujda

La plupart des infiltrations proviennent de l'Est et du Sud-Est en direction de l'Aéroport des Angades, de Touissit de cadet El Hal et de Oglat et Mangoub. Un autre couloir a été signalé de Drâa El Ghoziane vers Oglat Meriji et de Merzratene vers El Atenf.

Durée de l'invasion

Durant cette campagne, l'invasion acridienne s'est échelonnée sur une durée allant de 1 à 141 jours selon les régions (Tableau III).

Tableau III. Durée de l'invasion 1988 - 1989.

régions	début de l'invasion	fin de l'invasion	durée en jours
Bouarfa	10/10/88	19/12/88	72
Errachidia	10/10/88	26/2/89	140
Ouarzazate	10/10/88	27/1/89	110
Tata	11/10/88	28/2/89	141
Guelmim	21/10/88	24/2/89	127
Oujda	17/10/88	16/1/89	91
Laayoune	23/10/88	9/2/89	110
Dakhla	31/10/88	30/12/88	61
Aït-Melloul	29/10/88	27/12/88	60
Khénifra	9/11/88	4/12/88	25
Missour	6/11/88	2/12/88	27
Marrakech	15/11/88	15/11/88	1

A partir du 10 octobre 1988 les provinces de Bouarfa, Errachidia, Ouarzazate et Tata sont infestées. Oujda, Guelmim et Aït-Melloul ont été envahies respectivement dès le 17 octobre 88, le 21 octobre 88 et la fin du même mois. La durée de l'invasion a varié en fonction des zones. D'une façon générale, elle a été supérieure à deux mois pour les régions frontalières.

L'arrêt des infiltrations les plus importantes a été noté vers la fin du mois de décembre pour les PC d'Errachidia, Bouarfa, Oujda et Dakhla. Pour Tata, après une accalmie constatée au mois de janvier 1989, les essais ont repris leur déferlement en février 1989. Les zones de Laayoune et Guelmim ont été soumises à une invasion plus soutenue et plus longue qui s'est perpétuée jusqu'à la fin du mois de janvier et une partie du mois de février 1989.

La caractéristique des essais durant l'automne 1988 réside dans leurs fortes concentrations nocturnes. Les essais posés au sol couvrent des surfaces dépassant parfois 30 000 ha. Les vagues d'essais observées au mois de janvier et février sont très denses ; les densités estimées varient de quelques individus à plus de 500 individus au mètre carré. Bien que d'apparence homogène les populations composant des essais sont en évolution phasaire (Mouhim, 1989).

Les observations faites sur le terrain révèlent que les essais sont en majorité immatures ; les dissections réalisées sur des femelles jaunissantes ont montré que leurs ovaires sont peu développés. Le maintien des essais à l'état sexuel immature semble être dû aux conditions écométéorologiques défavorables (températures hivernales parfois en dessous de zéro, végétation peu développée...) d'une part et aux traitements conduits sur ces essais d'autre part.

Traitements

Traitement d'automne 1987-1988

Traitement contre les adultes

Ils ont débuté vers le 27 octobre 1987 et se sont poursuivis jusqu'au mois de février 1988. Durant cette période, il a été possible grâce aux moyens aériens et terrestres déployés de venir à bout de 200 691 ha d'adultes (fig. 1).

C'est durant les mois de novembre et décembre que 95% des superficies ont été traitées avec respectivement 51% et 44%. La zone couverte par le PC de Guelmim a été celle la plus visitée par les essaims (57%) des surfaces traitées dans cette région. Elle est suivie de Tata (15%), d'Errachidia (12%) et d'Ouarzazate (12%). Les autres régions représentent de faibles pourcentages (fig. 1).

La région de Bouarfa, d'Errachidia et d'Ouarzazate ont réalisé 97,3% des opérations de traitements en novembre, alors que pour Guelmim et Tata c'est le mois de décembre qui a coïncidé avec le maximum des surfaces traitées (59%).

L'intervention sur les populations adultes a été cependant très réduite dans les zones sahariennes.

Traitements contre les larves

Les premiers accouplements observés dans les provinces sahariennes à Oued Drâa et dans la région de Guelmim sont rapportés le 16 novembre 1987. La ponte a commencé le même jour. Des éclosions ont été observées dès la deuxième décennie de décembre.

Les opérations de traitement contre les larves ont débuté le 23 décembre 1987. Elles sont poursuivies jusqu'au mois de mars 1988. C'est surtout au niveau des zones sahariennes que des superficies les plus importantes sont traitées. La superficie totale traitée à l'échelle nationale est de 162 157 ha, dont 51,7% à Dakhla et 40,6% à Laayoune.

Les superficies infestées de larves issues de la reproduction hivernale sont moins importantes dans les zones de Guelmim et de Tata : 12 246 ha.

Traitement du printemps-été 1988

Lutte contre les adultes

Depuis le 2 mars 1988 jusqu'au 27 avril 1988, les surfaces traitées contre les adultes en général mûres ont atteint 921 752 ha. Durant le mois de mars près de 65% des superficies infestées ont été traitées. La zone de Guelmim, la plus infestée du Royaume (343 865 ha) représente à elle seule 37,31% de la surface totale traitée. Viennent ensuite Ouarzazate (27,15%), Bouarfa (16,83%), et Errachidia (8,80%). Les autres régions représentent de faibles proportions des surfaces traitées (fig. 2).

La destruction de plus d'un million d'ha de larves n'a pu éviter l'émergence de jeunes ailés issus de la reproduction printanière effectuée au Maroc. Une quinzaine de jours après

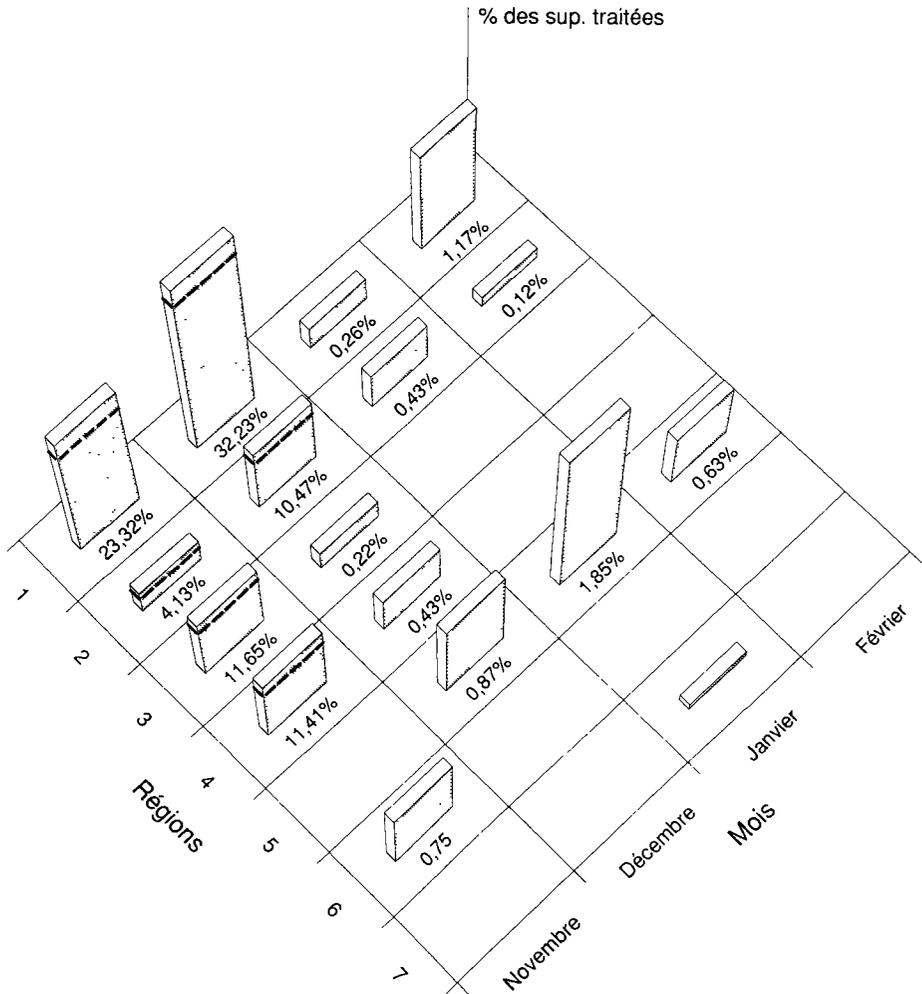


Figure 1. Importance des superficies traitées au Maroc contre le criquet pèlerin durant l'automne-hiver 1987-1988. (*) 1 = Guelmim; 2 = Tata; 3 = Errachidia; 4 = Ouarzazate; 5 = Laayoune; 6 = Bouarfa; 7 = Dakhla.

l'arrêt des traitements contre les adultes mûres (du 1 au 15 mai 1988), la lutte a repris sur les adultes immatures à partir du 16 mai à Foug Zguid, Assa, Erfoud, etc.,..., pour ne se terminer qu'au mois de juillet. La superficie globale traitée est évaluée à 465 563 ha, dont 30% réalisés au mois de mai, 64% en juin et 5% au mois de juillet. (fig. 2).

Comme précédemment, près d'un tiers des surfaces traitées sont localisées à Guelmim, 23% à Ouarzazate, 22% à Errachidia et 19% à Tata.

Invasions de Schistocerca gregaria au Maroc de 1987 à 1989

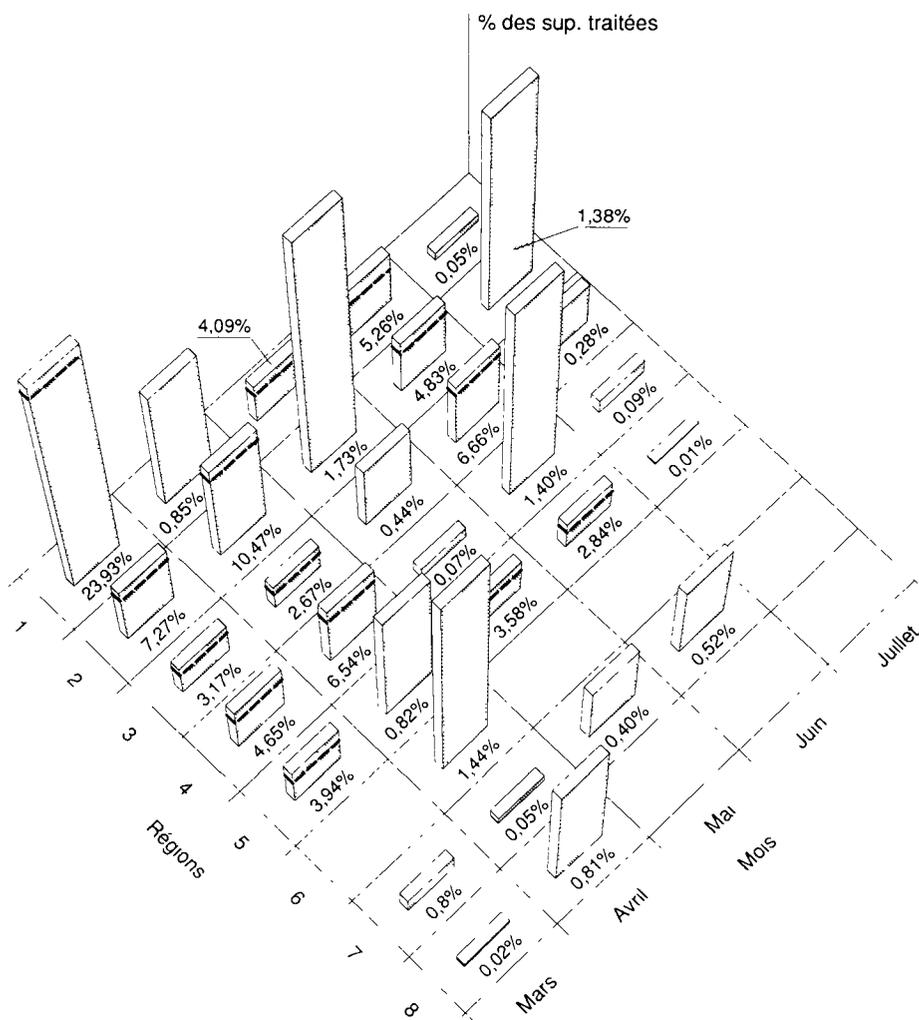


Figure 2. Importance des superficies traitées au Maroc contre le criquet pèlerin durant le printemps-été 1988. (*) 1 = Guelmim; 2 = Ouarzazate; 3 = Errachidia; 4 = Bouarfa; 5 = Tata; 6 = Oujda; 7 = Laayoune; 8 = Dakhla.

Lutte contre les larves

Bien que les moyens déployés pour détruire les adultes mûres soient considérables, des pontes furent déposées dans la majorité des régions visitées par le criquet.

Les premières éclosions sont notées à Tata et à Guelmim le 30 mars 1988.

Les traitements anti-larvaires ont démarré dans l'ensemble des zones touchées dès la première semaine d'avril, à l'exception de l'Oriental. Au niveau de cette dernière région, la lutte contre les larves a commencée le 20 avril 1988 à Bouarfa et le 25 mai 1988 à Oujda. L'utilisation des moyens terrestres, notamment les atomiseurs à dos, a permis d'entreprendre une lutte efficace sur des petites superficies et sur les zones inaccessibles par voie aérienne. Les traitements anti-larvaires se sont étalés sur une période de 17 jours dans la province d'Oujda et sur 3 mois à Guelmim. Pour toutes les autres régions infestées, la lutte a duré environ deux mois.

La superficie totale infestée traitée contre les larves au niveau national est évaluée à 1 051 708 ha. C'est durant le mois de mai que près des deux tiers de celle-ci sont débarassés des pullulations de larves. Le PC de Guelmim a traité près d'un tiers du total des superficies infestées. Le reste a concerné les autres régions : Tata (23,24%), Bouarfa (17,10%), Ouarzazate (13,14%), Errachidia (8,66%), Laayoune (4,92%), Dakhla (2,64%), Oujda (0,74%).

Traitement d'automne 1988

Les traitements ont porté sur des adultes immatures, caractérisés par une mobilité remarquable (envols de plus de 60Km/jour), volant souvent à haute altitude, et n'empruntant pas toujours les couloirs utilisés lors des campagnes précédentes. L'utilisation massive des moyens de lutte a permis de traiter une superficie évaluée à 1 989 622 ha (dont 93,45% par voie aérienne) (fig. 3). Les surfaces moyennes traitées quotidiennement se répartissent dans le temps comme suit :

du 10/10/88	au 31/10/88	: 10 709 ha/jour
1/11/88	au 30/11/88	: 32 316 ha/jour
1/12/88	au 31/12/88	: 17 788 ha/jour
1/ 1/89	au 31/1/ 89	: 6 852 ha/jour
1/ 2/89	au 28/2/ 89	: 732 ha/jour
1/3/ 89	au 5/3/ 89	: 32 ha/jour

C'est durant le mois de novembre 1988 que les superficies les plus élevées ont été traitées. Le maximum des surfaces traitées a été de 81 338 ha le 15 novembre 1988 ; les zones envahies se trouvent en grande majorité à Guelmim : 23 650 ha ; à Tata : 17 362 ha et Aït-Melloul : 14 900 ha (fig. 3).

Au mois de décembre à 12 reprises, les traitements réalisés quotidiennement ont concerné des surfaces variant entre 15 000 et 25 000 ha. Le maximum a atteint 45 000 ha le 13 décembre 1988. Durant cette campagne, c'est encore le PC de Guelmim qui a traité 41,52% du total national, ce qui correspond à 826 144 ha répartis entre Guelmim (482 250 ha), Tan-Tan (117 705 ha), et Tiznit (226 189 ha).

Le PC d'Ouarzazate qui couvre toute la province ainsi qu'une partie des régions de Taroudant et de Tata, a traité 274 978 ha. Cette superficie a concerné les régions de Ouarzazate (241 218 ha), de Tata (25 198 ha) et de Taroudant (560 ha). Ce qui représente 19,82% des superficies traitées à l'échelle nationale.

Dans la zone de Tata, 253 427 ha ont été traités soit 12,74% du total. Au niveau des zones d'Agadir et de Taroudant, envahies à partir du fin octobre, 91 518 ha et 64 889 ha ont été respectivement pulvérisés dans les régions d'Agadir et Taroudant.

Dans les régions sahariennes notamment à Laayoune, les opérations de lutte par voie aérienne ont été bénéfiques, elles ont réduit les essaims de grandes dimensions. Les surfaces traitées se situent dans les régions de Laayoune (169 685 ha), de Smara (25 266 ha) et de Boujdour (24 246 ha). Le maximum des surfaces traitées (48,73%) a eu lieu en novembre 1988. Le reste des traitements est réalisé en décembre (27,72%), en octobre (11%) et en janvier (11%) (fig. 3).

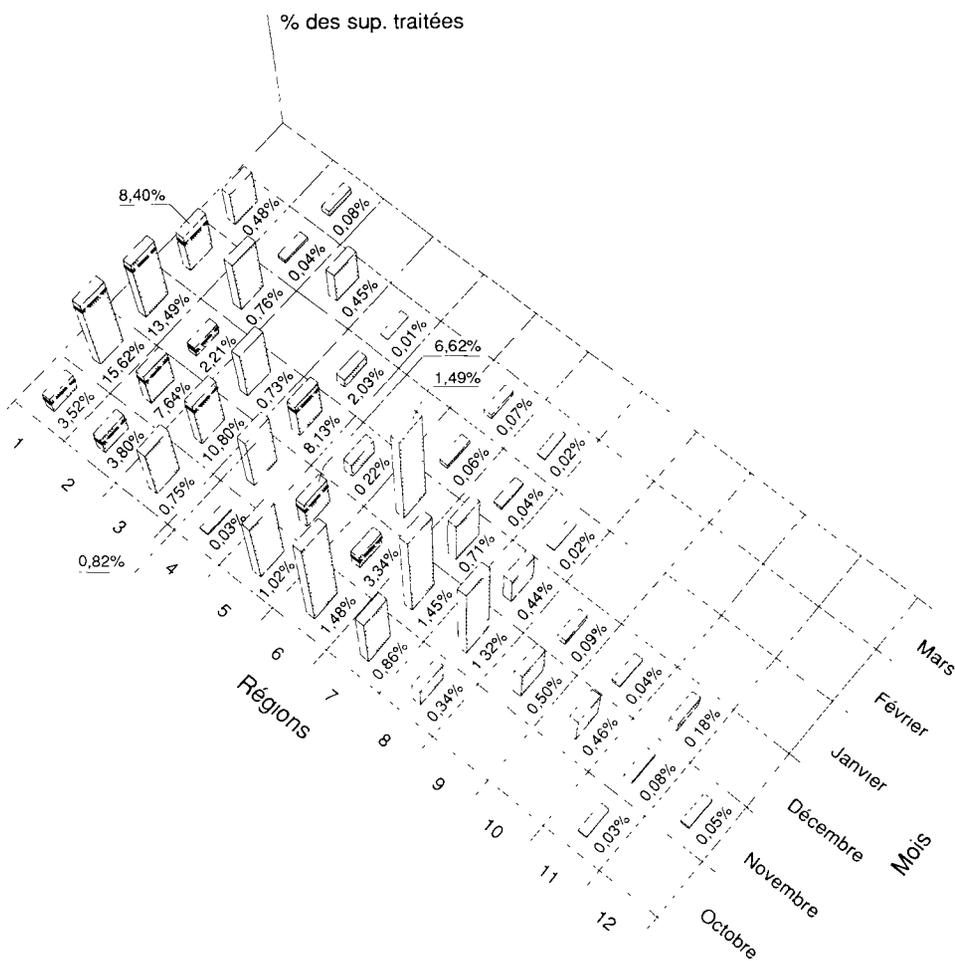


Figure 3. Importance des superficies traitées au Maroc contre le criquet pèlerin durant l'automne-hiver 1988-1989. (*) 1 = Guelmim; 2 = Ouarzazate; 3 = Tata; 4 = Laayoune; 5 = Ait-Melloul; 6 = Errachidia; 7 = Bouarfa; 8 = Oujda; 9 = Khénifra; 10 = Missour; 11 = Dakhla; 12 = Marrakech.

Améliorations techniques et précautions sanitaires suscitées au cours de l'invasion acridienne

L'invasion, subie par le Maroc entre 1987 et 1989, a incité les organisateurs à oeuvrer dans la recherche de nouvelles stratégies de lutte et d'améliorer celles déjà adoptées. L'utilisation des produits chimiques dans la lutte a aussi conduit les responsables à prendre des mesures de sécurité préventives à l'égard du manipulateur et du consommateur. L'étude de l'impact des acridicides sur l'environnement et sur les cultures a également été entamée. Les principales améliorations et précautions ont porté sur les aspects ci-dessous.

Utilisation de nouveaux acridicides

Lors de l'invasion automnale de 1987, la gamme des produits utilisés était restreinte. L'utilisation presque exclusive du Dichlorvos au début des opérations a été élargie au printemps et en automne 1988, en faisant appel à d'autres acridicides tels que le fenitrothion ULV 96%, le malathion 50% et 96% ULV et dans une moindre mesure les pyrethri-noïdes (deltaméthrine et lambda cyhalothrine).

Le DDVP, utilisé en début de la campagne, présente des qualités indéniables notamment sa rapidité d'action, et le peu de résidus qu'il est censé laisser. Sa toxicité élevée (Tableau IB) et son mélange au solvant HAN à effet corrosif sur les joints et tuyauterie des appareils de traitement, nous ont incité à diversifier les matières actives tel le Malathion, entre autres.

Les superficies traitées au DDVP sont évaluées à 1 157 500 ha celles au malathion à 1 398 000 ha.

La plupart des essaims traités au Malathion qui ne jouit pas de l'avantage de "l'effet de choc", reprennent leur vol et sont souvent traités de nouveaux. Les insectes traités mais toujours vivants risquent d'être consommés par la population humaine non avertie s'ils se posent dans des endroits loin des zones de traitements.

L'incursion des criquets en novembre et décembre 1988 dans les zones de cultures a impliqué le choix des matières actives appartenant à la famille des pyrethri-noïdes de synthèse (deltaméthrine et lambda cyhalothrine).

Recherche de résidus des acridicides

Lors de la campagne automnale 1988, environ 1 582 665 litres de pesticides furent pulvé-risés. Les produits ont été épandus aussi bien dans les zones de culture qu'en dehors de celles-ci.

Des échantillons de l'eau, du sol et de la végétation ont été prélevés au niveau des provinces d'Agadir et de Guelmim. Il a été procédé en outre à l'analyse des résidus des acridicides sur et dans les fruits de clémentine et de tomate dans la région de Souss-Massa.

La plaine du Souss-Massa est en effet connue par ses activités agricoles diversifiées, approvisionnant aussi bien le marché national qu'extérieur en légumes et en fruits d'agrumes. Les pesticides testés sont ceux utilisés en lutte anti-acridienne, il s'agit du

Malathion (750g de M.A/ha), du DDVP (200g de M.A/ha) du Fénitrothion (350g de M.A/ha), de la deltaméthrine (12,5g de M.A/ha) et de la lambda cyhalothrine (20g M.A/ha). Les produits utilisés sont en formulation ULV. La clémentine et la tomate ont été choisies pour leur grand intérêt économique et pour la coïncidence des invasions acridiennes avec la maturité des fruits. Les teneurs en résidus détectées sont comparées aux limites maximales de résidus (LMR) fixées par le codex Alimentarius (FAO/OMS) ou par la législation de certains pays européens. La LMR la plus faible est retenue pour la détermination du délai de carence.

Délai de carence sur tomate et clémentine

Le Tableau IV récapitule les résultats d'analyses convertis en délais de carence.

Il en ressort que :

- Les fruits de clémentine et de tomate traités avec les pyrethrinoides de synthèse (deltaméthrine et lambda-cyhalothrine) peuvent être récoltés dans un délai inférieur à un jour après le dernier traitement et ce quel que soit le nombre d'applications effectuées (maximum testé est 3 applications successives).

- Les fruits traités avec le DDVP ou le fénitrothion ne peuvent être récoltés qu'après un délai de carence qui est plus important pour la clémentine que pour la tomate et qui croît avec le nombre d'applications effectuées (Tableau IV).

- Les fruits de clémentine traités avec le malathion doivent être récoltés après un délai de carence qui est supérieur à 15 jours pour 2 ou 3 applications successives. Par contre, les fruits de tomate traités avec la même matière active peuvent être récoltés dans un délai inférieur à un jour.

Résidus dans : eau, sol, végétation

Les analyses de résidus dans l'eau, le sol et la végétation des pesticides largement utilisés dans la lutte anti-acridienne DDVP, fénitrothion, malathion prélevés dans les régions de Guelmim et d'Agadir, n'ont révélé aucune trace des 3 produits dans la quasi-totalité des échantillons prélevés 2 à 6 mois après le dernier traitement. Néanmoins quelques échantillons du sol et de végétation ont permis de déceler des taux de résidus de malathion et fénitrothion variant de 0,2 à 4,1 ppm, teneurs largement inférieures aux tolérances dans certains produits alimentaires.

Pour le DDVP, il a été décelé uniquement dans un échantillon de végétation spontanée à Tlat Sidi Bouya à la teneur de 0,2 ppm.

Des résidus du malathion ont été décelés dans 6 échantillons de végétations spontanées. Les teneurs en résidus varient de 0,5 à 4,1 ppm. En ce qui concerne le sol, seul l'échantillon prélevé dans un dépôt de lutte anti-acridienne à un mètre de profondeur a révélé une teneur de 5 ppm.

Pour ce qui est du fénitrothion, seul l'échantillon du sol prélevé à un mètre de profondeur dans un dépôt de lutte anti-acridienne a permis de déceler 3,4 ppm.

On peut donc conclure qu'à l'exception des échantillons du sol prélevés dans des lieux de stockage de pesticides, la quasi-totalité des échantillons analysés n'ont révélé aucune trace de résidus ou seulement quelques ppm, largement inférieures aux tolérances sur les produits alimentaires.

Tableau IV. Délais de carence en jours.

acricide testé	nombre de traitement	tomate		clémentine	
		délai	lmr*	délai	lmr
Dichlorvos	1	4		4	
	2	7	0,1	8,5	0,1
	3	14		>15	
Malathion	1	<1		7,5	
	2	<1	3	>15	0,5
	3	<1		>15	
Fénitrothion	1	2,6		10	
	2	5,5	0,5	>15	0,2
	3	11		>15	
Deltamethrine	1	<1		<1	
	2	<1	0,1	<1	0,05
	3	<1		1	
Lambda-cyhalothrine	1	<1		<1	
	2	<1	0,05	<1	0,05
	3	<1		<1	

* : Limite maximale de résidus en ppm.

Utilisation des aéronefs

La configuration des invasions a été à l'origine de la recherche d'engins aériens de plus en plus nombreux et plus performants.

Durant l'invasion acridienne de l'automne 1987, la gamme des aéronefs utilisés au départ, constituée principalement de 6 PA25 et 4 Hélicoptères de traitement, a été renforcée en moins d'un mois par 14 appareils à meilleurs rendements horaires. Les surfaces traitées à l'heure sont passées de 330 pour le PA25 à 400 – 410 pour les turbotrush et PA36, et à 732 ha pour le Cessna.

Pour la campagne acridienne du printemps 1988, le dispositif de lutte aérienne mobilisé est très important : 43 avions et hélicoptères. La mise en oeuvre de cette flotte répond à un besoin né de la confrontation entre les superficies infestées quotidiennement et les capacités de traitements des appareils utilisés. Depuis le déclenchement des opérations au 23 juillet 1988 il a été traité 1 819 165 ha par voie aérienne soit 64,93% du total national. Pour la campagne acridienne de l'automne 1988, l'ampleur des essaims, leur mobilité, leur déplacement à hautes altitudes, leur non respect quelques fois des couloirs, habituellement empruntés, nous ont incité à adopter une stratégie appropriée dans le déploiement et l'utilisation des aéronefs. Les superficies traitées par voie aérienne ont atteint 1 859 419

ha ce qui représente 93,5% du total ; l'avion et l'hélicoptère ont ainsi joué un rôle déterminant dans la destruction des adultes.

L'utilisation des avions gros porteurs, très timide lors des campagnes antérieures, a été mise à profit, notamment sur des très grandes superficies loin des cultures. Les essais posés, couvrant de très grandes surfaces, sont traités par les gros porteurs (2 DC 7 et 2C 130).

Sur 1 859 419 ha traités par voie aérienne (53 avions et hélicoptères), la part des gros porteurs couvre près d'un tiers soit 537 935 ha.

Le rendement moyen horaire calculé est de 1 824 ha. Il se répartit entre C 130 Américain (3216 ha), C 130 Marocain (dont le système de pulvérisation a été adapté par les techniciens marocains; 1 641 ha) et DC7 américains (1 957 ha).

Installation de nouvelles unités de lutte

Pour multiplier les unités de traitements et couvrir le maximum de zones infestées, il a fallu créer 36 sous PC, 42 campements (bivouac) et 112 unités opérationnelles.

Les sous PC intervenaient dans leur zone d'activité aussi bien contre les adultes que contre les larves.

Les bivouac installés à proximité des champs de pontes ou de larves parvenaient à bout des larves dans leur rayon d'action (25 km x 25 km). Les unités opérationnelles déambulantes assuraient à la fois les prospections et les traitements terrestres contre les acridiens.

Mesures sanitaires

Au début de l'invasion 1987 du printemps 1988, les utilisateurs des produits chimiques étaient soumis à des examens médicaux réguliers au niveau de chaque région. Des cas d'intoxications ont été notés et des mesures spécifiques ont été prises à leur égard.

A partir du printemps 1988, toutes les personnes en contact avec les acridicides, subissaient des analyses biologiques au moyen des Kitts. Cette technique enzymologique préventive a permis de suivre régulièrement l'évolution des taux de la cholinestérase chez les personnes en contact avec les acridicides. On a ainsi réussi à éviter des intoxications en écartant toute personne dont le taux d'activité de la cholinestérase accuse une réduction par rapport au taux normal (seuil toléré).

D'autres nouvelles mesures de protection ont été prises à l'égard du manipulateur des pesticides. Le matériel de protection utilisé au début de l'invasion s'est avéré en général incompatible avec les conditions de températures très élevées (ex: 32°C à 7 h du matin) des régions traitées. La durée de ce matériel était limitée à quelques jours. Aussi avons-nous opté pour un matériel plus confortable et plus sécurisant pour le manipulateur des produits chimiques.

En ce qui concerne les animaux domestiques, des mesures préventives de sécurité ont été formulées et appliquées par les autorités locales ; les zones pastorales traitées contre les criquets étaient interdites à l'accès du cheptel pendant une période fixée selon les délais de carences des acridicides utilisés dans ces régions.

Conclusion et perspectives

L'analyse des caractéristiques de l'invasion acridienne du Maroc entre 1987 et 1989 permet de noter que celle-ci se classe parmi les invasions antérieures les plus brutales et les plus graves. Les essaims envahissant le Maroc se caractérisent par des densités, une structure phasaire et un état de maturité sexuelle variant d'une campagne à l'autre et au sein d'une même campagne selon les populations.

Pour accéder au Maroc, les essaims semblent en général privilégier un certain nombre de couloirs. Ces axes de pénétrations doivent d'ores et déjà être ciblés à chaque invasion du Maroc par le criquet pèlerin.

Au cours de l'invasion 1987-88, le criquet pèlerin a pu développer deux générations successives au Maroc. Ces générations se sont échelonnées entre le mois de novembre 1987 et le mois de juillet 1988.

La durée et l'importance de chaque campagne d'invasion vécue par le Maroc, varient entre les régions envahies. C'est pendant la campagne 1988-89 que l'invasion était la plus sévère, des essaims ont pu atteindre les régions de Khénifra et de Missour. Le choix et la répartition du moyen à mettre en œuvre doivent donc désormais tenir compte de ces composantes.

Pour confronter ces invasions, les organisateurs ont dû élaborer un ensemble de stratégies dynamiques de lutte adaptées à chaque situation acridienne. Il a fallu également faire appel à des moyens humains (plus de 4000 personnes) et matériels très diversifiés. Le Maroc a ainsi traité 4 791 493 ha, la plus grande superficie traitée jusqu'à maintenant au Maroc. Cette superficie se répartie entre l'automne-hiver 1987-88 avec 7,57%, entre le printemps-été 1988 avec 50,90% et entre l'automne-hiver 1988-89 avec 41,53%. Chaque hectare traité revient en moyen à 10 dollars USA.

Pour réduire les risques inhérents à l'emploi des acridicides, des mesures préventives et des contrôles biologiques ont permis d'éviter des intoxications graves humaines et animales. Des analyses chimiques de résidus d'acridicides ont par ailleurs révélé que l'environnement des régions traitées n'est pas aussi pollué qu'on le craignait *a priori* et que les récoltes traitées peuvent être consommées selon les délais de carences établis.

Dans l'avenir, les axes de recherches doivent être orientés en premier lieu sur l'entreposage et les éliminations des stocks périmés et emballages des acridicides.

Pour mieux comprendre l'impact des acridicides sur l'environnement de toutes les régions abondamment traitées contre le criquet pèlerin, des études éco-toxicologiques plus approfondies doivent être entreprises.

La solution idéale des problèmes acridiens réside dans la connaissance approfondie de la bio-écologie de l'espèce et de celle des facteurs régissant le fonctionnement des transformations phasaires. Un système de prévisions des pullulations acridiennes dans les aires grégarigènes pendant la période de récession permettra de conduire des luttes efficaces et à bon escient contre les larves du criquet pèlerin. Des méthodes alternatives de luttes bien réfléchies contre le criquet pèlerin peuvent intégrer la lutte chimique.

2

La lutte anti-acridienne au plan national, une action permanente : enseignements et propositions

R. LAKHDAR

Direction de la protection des végétaux des contrôles techniques et de la répression des fraudes, BP 1308, Rabat, Maroc

Actuellement la Communauté Internationale n'est pas organisée pour permettre un retour assuré à une rémission définitive.

Aussi convient-il de définir un modèle d'approche nationale c'est-à-dire en fait une stratégie et une organisation que pourrait adopter un pays tel que le Maroc, ayant à faire face au «fléau criquet pèlerin» notamment au plan de la Recherche Scientifique.

L'aspect législatif et réglementaire

La première assise sur laquelle doit reposer une organisation adaptée aux données bioécologiques du criquet pèlerin est une réglementation précise et explicite qui définit la phase de rémission et la phase d'invasion ; phase d'invasion où le pays est déclaré «envahi par le criquet pèlerin».

Cette réglementation doit définir l'outil qui gère en quelque sorte la phase de rémission dans le pays et qui est le Centre de lutte anti-acridienne d'Aït-Melloul pour le cas du Maroc ; elle doit en préciser les attributions, les missions, l'organisation et les moyens.

Pour la phase d'invasion du pays, la réglementation doit préciser l'autorité qui coordonne et gère la lutte anti-acridienne, le rôle des différents départements étatiques, l'organisation de la lutte, les mesures particulières pouvant être prises pendant cette période d'invasion telles que la réquisition des personnes et des moyens et les indemnités y afférentes, l'accès aux propriétés privées, le devoir de signalisation des essaims, la gestion du personnel affecté à la lutte.

La lutte anti-acridienne en phase de rémission

Depuis 1914, les phases de rémission au Maroc, et c'est pratiquement le même cas dans plusieurs autres pays, ont eu une durée variant de 5 à 13 années auxquelles ont succédé inéluctablement des cycles d'invasion plus ou moins courts, d'intensité variable (de quelques milliers d'ha à près de cinq millions d'ha traités au cours de la dernière invasion 1987-1989, fig. 1).

Au cours des périodes d'accalmies les données relatives à la biologie du criquet pèlerin, dans le domaine de la phytopharmacie, de la mise au point du matériel, notamment de pulvérisation, des pesticides, ont évolué rapidement. De nouvelles générations de produits chimiques de synthèse et de matériels de traitement ont vu le jour. Il est un fait qu'à l'échelle internationale, à la veille de l'invasion de 1987, pour beaucoup de nouvelles données, de nouveaux produits, de matériel, leur application ou leur utilisation en lutte anti-acridienne étaient, sinon inconnues, du moins très imprécises. Aussi a-t-il fallu mobiliser, personnel, ressources financières, moyens pour se prononcer rapidement en pleine période de lutte sur tel ou tel procédé, tel ou tel matériel avec toutes les déconvenues et les pertes que cela a parfois entraîné.

Il y a donc lieu durant ces périodes d'accalmie d'être à l'écoute permanente de tous les acquis pouvant faire progresser la lutte anti-acridienne. Cette écoute doit se concrétiser par leur recensement systématique et l'essai de leur application en lutte anti-acridienne.

Par ailleurs, pour faire face à l'invasion, il a été nécessaire au Maroc de mobiliser des moyens humains considérables, ingénieurs et techniciens de l'Agriculture, mais aussi tout un ensemble de cadres et de personnel de profils très divers ; D'autant plus que le rythme de travail en période de lutte nécessite une relève périodique. Il a fallu donc assurer rapidement, durant les courtes périodes séparant les phases de traitement, la formation complémentaire de plus de 200 techniciens et ingénieurs et de plusieurs centaines de personnes affectées notamment aux tâches de soutien.

De plus et à l'instar des anciennes campagnes de lutte, des produits et un matériel considérables ont été acquis ; il faut en assurer la maintenance et éviter qu'au fil des ans et en perdant de vue les dangers du fléau, l'on ne s'achemine vers la dispersion et peut être la perte, pour la lutte anti-acridienne, de ce matériel.

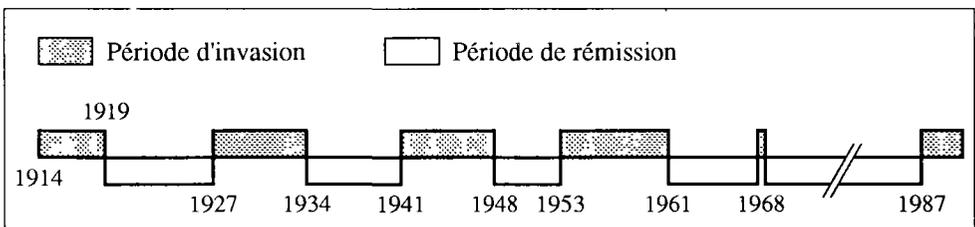


Figure 1. Succession depuis 1914 des cycles d'invasion et de rémission du criquet pèlerin au Maroc.

Le Centre National de Lutte Anti-acridienne

Il apparaît donc nécessaire comme cela est le cas au Maroc d'implanter un Centre National de Lutte Anti-acridienne dans chacun des pays fortement menacé par le fléau acridien.

Missions du Centre National de Lutte Anti-acridienne

Ce centre remplit plusieurs missions :

Le suivi et l'évaluation

Ce centre assurera le suivi et l'évaluation de la situation acridienne à l'échelon national et dans le monde, en liaison avec les organismes de lutte anti-acridienne dans les autres pays et avec les services spécialisés des organismes régionaux (OCLALAV...) et de la FAO. Il évaluera donc de façon permanente les risques d'invasion du pays.

Ce suivi et cette évaluation sont à faire, d'une part, à travers ces liaisons mais aussi à travers l'analyse de données météorologiques et de végétation relatives à la région. En effet, il est certain que l'analyse de données fournies par les images NOAA ont permis de mieux affiner les hypothèses d'évolution de la situation acridienne au cours de l'invasion des deux dernières années.

la Recherche et l'Expérimentation

Le Centre National aura aussi à entreprendre durant les périodes de rémission et d'invasion des recherches et expérimentations ayant trait à la lutte anti-acridienne. La réalisation de celles-ci se fera en relation avec les organismes homologues des autres pays et en collaboration avec les Institutions Nationales de Recherche.

Les thèmes de ces recherches et expérimentations doivent porter notamment sur les grands aspects suivants :

- La bio-écologie du criquet pèlerin ;
- Les moyens de lutte :
- Les pesticides :

Les essais et étude systématiques des produits pesticides à usage acridicide éventuel et de leur impact sur l'environnement sont à conduire de façon systématique en liaison avec le bureau d'homologation des pesticides. N'est-on pas à titre d'exemple, à la veille de l'utilisation de produits tels que les dérégulateurs de croissance qui pourraient ouvrir de nouvelles perspectives à la lutte.

Il faut aussi rappeler que durant cette dernière invasion le Maroc a dû se prononcer sur 23 spécialités à usage acridicide possible groupant 19 molécules pour n'en retenir que 7. Signalons aussi que l'une des spécialités présumée solutionner le problème de la lutte contre les larves et qui était préconisée pour une lutte à grande échelle s'est avérée totalement inadaptée et inefficace.

- Le matériel :

Depuis un demi siècle, les matériels de pulvérisation ont progressé dans le sens de l'efficacité, permettant l'utilisation de molécules formulées pour l'usage en ultra-bas-volume. Depuis 1980 l'électronique a fait son entrée en force dans ce type de matériel, les micro-processeurs, les ordinateurs, les composants synthétiques remplaçant les métaux et les alliages sont de plus en plus utilisés.

Les essais systématiques de matériel terrestre et aérien de traitement en vue d'en établir les performances en lutte anti-acridienne contre les adultes et les larves sont donc plus que jamais nécessaires.

Ces essais doivent porter aussi sur :

- l'étude de la résistance de ce matériel et de ses différentes composantes à la corrosion par les différents produits acridicides ;
- l'étude de l'impact de ce matériel sur l'utilisateur (fatigue liée au poids, aux vibrations, au bruit...).

Rappelons là encore que le Maroc a été amené à tester en pleine campagne 6 types d'appareils de traitement montés sur véhicule et à en concevoir un nouveau. Un système de pulvérisation a aussi été adapté sur un avion gros porteur.

Pour les atomiseurs à dos, Il atomiseurs ont été testés dont deux se sont révélés adaptés à la lutte mais présentent tout de même certains inconvénients de poids ou de robustesse.

De même qu'au cours de la campagne 12 différents aéronefs (avions et hélicoptères) ont été utilisés et leurs performances et intérêt respectifs évalués.

Le centre aura aussi à suivre et à tester le matériel de transmission radio susceptible d'être utilisé en lutte anti-acridienne ainsi que les habits de protection dont plus de six sortes ont été utilisées avec plus ou moins de bonheur ces deux dernières années. Les techniques de préservation de la santé des personnes en contact avec les acridicides devront retenir aussi son attention.

La formation

Au plan de la formation le centre aura à apporter sa contribution aux établissements d'enseignement agricole, dans le cadre de la formation théorique et pratique des techniciens et ingénieurs en assurant les cours d'acridologie et en accueillant les stagiaires pour les différents aspects liés à la lutte (transmission, prospections...)

La maintenance

Il devra assurer en outre la maintenance et le suivi du matériel, particulièrement le matériel roulant et de pulvérisation. Le centre veillera également sur l'entreposage et l'amélioration de la qualité du stockage des pesticides.

Autres missions

Il sera chargé des actions de lutte limitées en période de rémission et constituera en période d'invasion «l'expertise nationale» en matière de lutte anti-acridienne. Il sera aussi le noyau autour duquel s'articulera l'ensemble du dispositif de lutte.

L'organisation du centre devra donc tenir compte du triple aspect de ces missions scientifique, technique et matériel et de l'interdépendance de celles-ci avec les actions des autres organismes chargés de la protection des cultures.

La lutte anti-acridienne en phase d'invasion

La gravité des invasions acridiennes, l'urgence des actions à entreprendre, la nécessité de l'intervention de différents organes de l'Etat, l'importance des moyens à mettre en oeuvre implique la mise en place d'une assise juridique claire et précise aux actions de lutte anti-acridienne.

La réglementation devra, comme nous l'avons indiqué auparavant, préciser les conditions dans lesquelles le pays est déclaré envahi et l'ensemble des mesures qui en découlent. Parmi celles-ci il y a lieu d'insister sur les aspects suivants :

La Commission Nationale de Lutte Anti-acridienne (CNLA)

La première mesure est la mise en place d'une Commission Nationale et de Commissions Régionales de lutte anti-acridienne.

Organisation de la CNLA

Placée sous l'autorité d'un Coordonnateur National, la Commission Nationale regroupe notamment les représentants des départements suivants :

- Ministère de l'Agriculture (Service de la Protection des Végétaux);
- Ministère de l'Intérieur;
- Ministère de la Défense;
- Ministère des Finances;
- Ministère des Affaires Etrangères;
- Ministère des Travaux Publics et d'Aéronautique Civile;
- Ministère des Transports;
- Ministère de la Santé.

Le Coordonnateur National doit représenter la plus haute autorité gouvernementale afin de faire prendre et exécuter d'urgence par les autorités gouvernementales les décisions relatives aux actions de lutte anti-acridienne.

Il faut insister sur le fait que la gestion des activités de lutte anti-acridienne en phase d'invasion implique un nombre incalculable de décisions prises d'urgence, tant au niveau central qu'au niveau régional. Cette gestion nécessite aussi une évaluation continue de la situation et une adaptation parfois heure par heure du dispositif et des moyens mis en place.

Ces contraintes requièrent une disponibilité totale et permanente du personnel en charge de la lutte, une organisation claire et décentralisée au maximum ainsi qu'une définition précise des attributions à tous les niveaux.

Missions du Coordonnateur

Le Coordonnateur veille:

- à la direction et à la coordination des actions de lutte notamment par le biais de la Commission Nationale de Lutte Anti-acridienne placée sous son autorité;
- à la mobilisation et à la gestion des ressources budgétaires nationales pour la campagne;
- à la mobilisation et à la gestion des compétences et des moyens nationaux affectés à la lutte.
- aux relations avec les organisations internationales et les pays donateurs, pour mobiliser des ressources extérieures et assurer l'appui étranger à la campagne de lutte.

Missions de la Commission Nationale de Lutte Anti-acridienne (CNLA)

La CNLA a pour missions essentielles de :

- assurer le suivi permanent de la situation acridienne à l'échelle internationale, sur le plan régional et dans le pays;
- identifier et évaluer les besoins en moyens humains, matériel, produits de traitements et en moyens financiers.
- s'assurer en permanence de la disponibilité des produits de traitements;
- apporter son appui technique à l'organisme chargé de l'acquisition du matériel et des produits;
- procéder à la répartition adéquate du personnel et des moyens de lutte dans les différentes zones d'actions et à leur transfert éventuel en cas de besoin.
- veiller à la bonne utilisation du matériel et des produits en s'assurant :
 - du bon entretien du matériel par la mise en place d'ateliers de réparation dans les principales zones d'action;
 - de l'utilisation des produits aux doses recommandées;
- identifier et s'assurer de la mise à la disposition de la lutte anti-acridienne des moyens complémentaires notamment :
 - les pistes d'atterrissage;
 - les dépôts pour stockage de produits, carburant et de matériel;
 - les moyens de liaisons (radio, téléphone, télex);
- procéder à toutes les démarches administratives et autres en vue d'assurer toutes les facilités pour :
 - l'introduction rapide dans le pays des moyens et produits de traitement acquis à l'étranger notamment au titre de l'aide internationale;
 - L'accueil et le séjour du personnel étranger de lutte;
- assurer le suivi permanent de la situation climatique prévalant dans le pays, afin :
 - de contribuer à localiser les zones de pullulation éventuelle;
 - d'évaluer les possibilités pour les avions, compte tenu des conditions climatiques, de procéder aux traitements;
- veiller à la préservation de la santé du personnel chargé de la lutte en:
 - mettant à sa disposition les habits de protection adéquats;
 - mettant en place un système de suivi médical du personnel;
 - mettant à la disposition du personnel médical les antidotes adéquats ainsi que le matériel et les produits permettant de détecter des éventuelles intoxications;
- veiller à la préservation de l'environnement par le choix de produits et de techniques d'application permettant d'éviter la pollution du milieu.

La Commission Régionale de Lutte Anti-acridienne (CRLA) : Représentante Régionale de la CRLA

Pour permettre une action efficace de la CNLA, celle-ci doit être représentée à l'échelon de chacune des principales zones d'action par une commission régionale placée sous la responsabilité de la plus haute autorité de la région concernée.

La CRLA regroupe les représentants locaux des principaux organismes composant la CNLA, en particulier :

- le Ministère de l'Agriculture (Protection des Végétaux) ;

- le Ministère de l'Intérieur;
- les Forces Armées;
- le Ministère des Travaux Publics;
- le Ministère de la Santé;
- la Météorologie Nationale.

Les Missions de la CRLA

Cette Commission aura pour tâches de :

- organiser au niveau de sa zone d'action les prospections et la lutte;
- gérer de façon autonome les moyens et le personnel mis à sa disposition;
- communiquer à la CNLA de façon permanente toutes les informations relatives à la situation acridienne et aux dispositions prises pour les actions de prospection et de lutte;
- identifier, évaluer et communiquer à la CNLA les besoins en moyens pour faire face à la situation acridienne;
- prendre toutes les dispositions pratiques pour assurer le bon déroulement des opérations de lutte :
 - mise en état des pistes;
 - entretien et réparation du matériel (véhicules, appareils de traitements aéronefs...);
 - transport, des produits et ingrédients aux lieux de traitement.

Fonctionnement de la Commission Nationale de Lutte Anti-acridienne

La CNLA chargé du suivi direct de l'opération de lutte anti-acridienne doit disposer en son sein des cellules spécialisées suivantes:

- **Cellule aéronautique** : elle est chargée de résoudre tous les problèmes qui sont posés aux différents aéronefs: suivi de la consommation et de l'approvisionnement en carburant et lubrifiants, réparation des avions et du matériel de pulvérisation, application des décisions de transfert d'une région à une autre, décompte des heures de vol effectuées et suivi des heures encore disponibles, décompte des superficies traitées par chaque aéronef, suivi de l'état des pistes. Elle doit donner aussi la position exacte et quotidienne des différents aéronefs.

- **Cellule produits et matériels de traitements**: cette cellule doit veiller à éviter toute rupture de stocks en produit de traitement à l'échelle du pays et à l'échelon des zones de traitement. Elle élabore quotidiennement un état détaillant dans chaque lieu de stockage, des quantités disponibles pour chacun des produits utilisés. Elle suscite à l'avance des achats ou les demandes d'aide en produits. Elle assure le suivi, pour le compte de la commission des essais de nouveaux acridicides en relation avec le service d'homologation et le groupe de recherche et d'expérimentation. Elle procède au choix des produits à utiliser, élabore les commandes de produits et les spécifications techniques exigées et assure le contact avec les différents fournisseurs pour les produits de traitements. Elle s'assure enfin de l'approvisionnement en produits des différentes zones de traitement et de la dotation des équipes de traitement en habits et matériels de protection.

- **Cellule « Programme de traitement »** : cette cellule est chargée de donner de façon permanente aux responsables de la commission une situation précise de l'infestation, des programmes de traitements arrêtés quotidiennement par chaque zone, des traitements effectivement réalisés dans chacune des localités. Elle porte quotidiennement sur carte

(1/200 000) les éléments précités: localisation des essaims, superficie de traitement programmée, superficies traitées, ainsi que tous les passages d'essaim et les localisations de larves. Elle élabore et soumet quotidiennement au coordonnateur et aux différentes cellules un état des difficultés et des doléances des différentes zones de traitements.

- **Cellule matériel** : elle veille à l'application des décisions relatives à la répartition des véhicules et du matériel de traitement, ainsi qu'à son entretien et à l'approvisionnement en pièces détachées.

- **Cellule coopération** : elle est chargée pour le compte de la commission des contacts avec les organisations internationales et les pays donateurs et représentations diplomatiques dans les différents pays. Elle élabore des dossiers nécessaires comprenant les éléments relatifs à l'infestation, aux moyens disponibles aux moyens à acquérir en vue de susciter l'aide internationale. Elle prépare les requêtes à soumettre aux différents donateurs ainsi que les réunions, hebdomadaires de suivi et de coordination de l'aide internationale avec les représentants des pays donateurs et des organisations internationales concernées.

- **Cellule financière** : elle établit avec les services du Ministère des Finances les procédures particulières d'urgence à mettre en place pour l'opération de lutte anti-acridienne.

Elle élabore pour le compte de l'organisme en charge financièrement de l'opération de lutte:

- le budget prévisionnel relatif aux dépenses à effectuer;
- les marchés et les contrats d'achat ou de location de produits, d'aéronefs et de matériel....

Elle assure enfin le suivi de l'exécution du budget affecté à l'opération.

- **Cellule informatique et archives** : elle est chargée de recueillir et d'enregistrer toutes les informations relatives au déroulement de l'opération de lutte anti-acridienne en particulier celles relatives :

- aux superficies infestées et aux superficies traitées.
- aux moyens disponibles et à leur répartition:
 - personnel
 - produits de traitements;
 - carburants et lubrifiants;
 - aéronefs;
 - matériel de traitement;
 - matériel de protection;
 - véhicules.

Ces éléments actualisés doivent pouvoir être fournis à tout moment aux membres de la commission.

- Le groupe de recherches et expérimentations

A côté de ces différentes cellules, il est fondamental de mettre en place un groupe de recherche et expérimentation réunissant les représentants des différentes institutions techniques et scientifiques pouvant apporter une contribution efficace à la conduite d'un programme de recherche adapté, devant être mené en phase d'invasion, et complémentaire à celui que le centre national conduit en phase de rémission.

Ce groupe aura à recueillir et à se prononcer sur les projets de recherche et d'expérimentation, à contribuer à leur réalisation, à procéder à l'examen des résultats obtenus et à favoriser leur application dans la lutte.

La mise en place de ce groupe est indispensable, en effet, si au cours de la dernière campagne au Maroc différents groupes de techniciens et de chercheurs ont procédé à des

observations, à des recherches et à des expérimentations sur la biologie de l'insecte, les pesticides, le matériel, l'environnement, la santé humaine, il aurait fallu une vision globale, structurée du programme et une hiérarchisation de ses composantes.

Conclusion

Il nous apparaît à l'issue, notamment, de l'expérience de l'invasion que vient de connaître le Maroc qu'il était indispensable d'insister sur le fait que, au delà des moyens matériels nécessaires, l'efficacité de l'action anti-acridienne au plan national, est au prix d'une législation et d'une réglementation adaptée, d'une organisation claire, décentralisée et d'une disponibilité sans partage des hommes qui en ont la charge.

Il reste qu'il faut qu'au niveau international, des actions similaires dans les différents pays soumis au fléau acridien soient entreprises et que les structures de coordination régionales et internationales jouent leur rôle.

3

Organisation de la lutte anti-acridienne au Maroc

Lieutenant-Colonel M. LAYID

Gendarmerie Royale, PCC de la lutte anti-acridienne, Royaume du Maroc

Pour bien comprendre le problème posé par la lutte menée contre le fléau acridien au Maroc de 1987 à 1989, il est nécessaire de l'analyser à travers les solutions qui lui ont été apportées.

Pour un pays à vocation agricole comme le Maroc, la réussite des opérations anti-acridiennes est une nécessité vitale compte tenu de l'importance des enjeux. Il fallait donc gagner la bataille contre le criquet pèlerin et pour ce faire, il fallait mobiliser des ressources humaines et matérielles de plusieurs départements ministériels et en coordonner la mise en oeuvre et la logistique sur de vastes étendues du territoire national. En effet, à partir des premiers jours de novembre 1987, les invasions acridiennes ont couvert pratiquement tout le Maroc extérieur, c'est-à-dire toute la partie du pays limitée par les chaînes des Atlas, de l'oriental jusqu'au pied de l'Anti-Atlas occidental (Sidi Ifni).

C'est pourquoi, il a été décidé d'opposer à cette menace exceptionnelle une organisation exceptionnelle qui tienne compte à la fois de l'aspect multidisciplinaire de la lutte anti-acridienne et de son caractère global dans la mesure où les activités induites en aval et en amont du processus des traitements sur le terrain soulèvent des problèmes relatifs à la santé, à l'environnement et à la recherche.

Cette organisation regroupant plusieurs intervenants de différents ministères est coiffée par un Coordonnateur National de la lutte anti-acridienne en l'occurrence le Général Housni Benslimane qui a insisté, depuis le début des opérations, sur le respect de certains principes :

- *Le coût efficacité* : même si l'enjeu est de taille, il faut avoir constamment à l'esprit que les dépenses consenties par l'Etat sont autant de sacrifices de l'ensemble de la Nation. Il est donc nécessaire d'opérer les traitements avec de bons résultats et au moindre coût.

- *La déconcentration du processus décisionnel* : à tous les échelons de la structure de coordination, il existe une part d'initiatives et d'attributions qui permettaient aux responsables déconcentrés de résoudre des problèmes sur place sans s'en référer préalablement à l'autorité supérieure. Cette liberté d'action, malgré tout surveillée d'en haut, n'aurait aucun sens si des moyens humains, matériels et financiers n'étaient pas mis à la disposition des différents organismes régionaux de coordination.

- *La circulation de l'information et la transparence* : dans une activité nécessitant des délais d'intervention très courts comme c'est le cas de la lutte anti-acridienne, l'information n'est valable que si elle peut être exploitée à temps, c'est-à-dire donner naissance à des interventions efficaces sur le terrain. D'autre part, une activité apparemment limitée à un domaine déterminé, a toujours débordé le cadre normal où elle est censée se confiner. C'est pourquoi le Coordonnateur National a toujours insisté sur les effets néfastes de la rétention de l'information pour éviter des structures où l'opacité pourrait voiler bien des défauts et des faiblesses.

- *Le respect de l'environnement* : les produits utilisés dans la lutte contre le criquet pèlerin ont des effets néfastes sur l'environnement et sur la santé de l'homme. Pour réduire au minimum les risques potentiels, un certain nombre de mesures ont été prises. Elles seront développées plus loin.

Les structures de coordination et de lutte

Depuis le début de la campagne, l'aspect multidisciplinaire de la lutte s'est imposé. En effet, la lutte anti-acridienne a de multiples facettes : agricoles, entomologiques, sanitaires, phytosanitaires, écologiques, logistiques, sans parler des données relatives aux transmissions, aux pesticides et même aux médias car il fallait sensibiliser l'opinion nationale et internationale.

On peut dire que la réussite de la coordination de la lutte au Maroc est due principalement à la cohésion des composantes ministérielles en action dans les différents échelons des structures de lutte. Elle est due aussi à la complémentarité des fonctions et au sentiment d'appartenance à un organe nouveau dont la mission transcende les clivages et les particularismes des départements ministériels représentés.

Cette organisation souple et déconcentrée ignore les lourdeurs habituelles des administrations classiques. L'aspect procédural habituel est rejeté en cas d'urgence mais la légalité est toujours respectée par des régularisations *a posteriori*.

Cette organisation a permis de traiter 4 758 912 hectares et de casser de façon décisive le cycle biologique du criquet pèlerin. Ceci a été rendu possible grâce à la mise en oeuvre de moyens humains et matériels importants qui ont atteint parfois :

- moyens humains : 3 935 hommes dont 443 ingénieurs et techniciens,
- moyens matériels
 - aériens : 56 dont 42 avions et 14 hélicoptères,
 - terrestres : 520 véhicules et 2 600 atomiseurs.

On distingue 4 niveaux de coordination et de lutte :

Un Poste de Coordination Central (PCC voir organigramme dans les annexes)

Implanté à Rabat et dirigé par le Coordonnateur National, il est l'entité interministérielle chargée de mener la lutte contre le criquet pèlerin en coordonnant les actions des PC Régionaux dont il est chargé de fournir les moyens.

12 Postes de Coordination Régionaux ou PCR

Implantés dans les chefs-lieux des provinces (voir annexes), ils ont pour mission d'intervenir dans les zones qui leur sont assignées suivant des limites correspondant généralement au découpage administratif. Ils disposent de moyens lourds d'intervention, aériens et terrestres, qu'ils actionnent de leur propre initiative. Les PCR établissent leurs programmes de prospection et de traitement; ils en rendent compte au PCC qui n'intervient que pour répondre aux demandes de renforcement éventuelles ou encore pour remédier à des situations dépassant la compétence des PCR. Des cellules représentant différents départements ministériels sont placées sous l'autorité de l'Ingénieur du Ministère de l'Agriculture et de la réforme Agraire (MARA) qui, épaulé par l'officier de Gendarmerie Royale du ressort, dirige le PCR suivant les instructions du Gouverneur Coordonnateur régional et chef des services extérieurs des départements ministériels.

Un PCR peut avoir sous son contrôle deux ou trois sous-PC. A ce niveau de coordination et de lutte, les moyens humains et matériels sont moins importants mais ils permettent de faire face à des invasions acridiennes sur l'étendue d'un cercle (une province comprend deux ou plusieurs cercles).

29 sous-PC

Leurs moyens d'action sont terrestres et la composante aérienne figure rarement dans la panoplie de moyens mis à leur disposition.

Ils renseignent les PCR, effectuent l'essentiel des prospections et procèdent aux traitements par voie terrestre. Les sous-PC disposent de plusieurs Unités Opérationnelles.

121 Unités Opérationnelles (UO)

Elles ont une compétence territoriale bien définie et sont chargées principalement des prospections et accessoirement des traitements de petites superficies.

Elles ont été créées pour effectuer un meilleur quadrillage des zones infestées en vue d'y procéder aux prospections des champs larvaires et à leur traitement. Ayant donné d'excellents résultats, elles ont été maintenues pour compléter le dispositif de renseignement des Forces Armées Royales, principalement celui des unités frontalières chargées de l'alerte précoce.

Ce sont ces UO et les 2 autres échelons de lutte et de Coordination (PCR et Sous-PC) qui, implantés tout le long des zones menacées, ont constitué le dispositif de lutte contre le criquet pèlerin. La profondeur de ce dispositif a permis d'éviter les débordements mais,

vers l'automne 1988, des essaims immatures et voraces ont traversé d'un seul coup l'Atlas (+ 2 000 m) et ont pénétré dans la vallée du Souss. Ce fait exceptionnel n'enlève rien à l'efficacité du dispositif déployé mais on a appris depuis que des essaims peuvent voler très haut et faire de longues distances en une seule journée.

La lutte anti-acridienne a été à l'origine d'autres activités en amont et en aval des opérations de lutte proprement dites.

Les aspects opérationnels et logistiques

Les aspects opérationnels sont conditionnés par un certain nombre de facteurs dont les plus déterminants concernent la cible, le milieu et les moyens.

Le criquet pèlerin est un insecte très résistant, à sang froid, vorace, prolifique, grégaire (*) et mobile. Compte tenu de toutes ces caractéristiques, il est indispensable de mettre en oeuvre des moyens importants et spécifiques dans des délais très courts. Tout retard dans l'intervention aurait pour conséquence tout d'abord, la destruction de cultures, plantations ou pâturages, ensuite le danger de saturation du dispositif de défense et enfin, des risques de ponte. La mobilité des essaims surtout lorsque les températures sont clémentes aggrave encore les problèmes de mise en oeuvre des moyens en réduisant les délais d'intervention à partir du lever du jour.

A ceci, il y a lieu d'ajouter que le traitement des cibles mouvantes que sont les essaims est encore rendu plus difficile par la nature du milieu. Il s'agit tout d'abord de zones présahariennes où comme on le verra plus loin l'infrastructure logistique était à aménager ou à créer. En second lieu, les différentes configurations du terrain conditionnent le genre de matériels à mettre en oeuvre. C'est la conjugaison cible-milieu qui impose donc au décideur le choix des moyens à adapter à la situation du moment. En montagne par exemple et contre un essaim de taille moyenne, l'hélicoptère est tout indiqué. En plaine, contre une petite cible, ce seront les moyens terrestres, etc.

Cette adéquation cible-moyens doit être scrupuleusement respectée en application du principe coût-efficacité d'une part et compte tenu des contraintes techniques d'autre part. Aussi un avion n'est pas efficace dans un terrain accidenté par suite de la présence d'angles morts et des risques d'accident.

C'est après analyse de tous ces facteurs, que le Général, Coordonnateur National, a préconisé une stratégie de lutte contre le criquet pèlerin. Cette stratégie n'était pas figée, elle était évolutive. Elle tenait compte des données géographiques du pays, de l'ampleur des invasions acridiennes, des moyens opérationnels à mettre en oeuvre et enfin des priorités elles-mêmes dictées par les enjeux. Lors de la première campagne 87-88, des essaims en partie matures mais d'importance moyenne envahissaient tout le sud des Atlas. Ces harcèlements incessants du dispositif appuyé sur les contreforts des montagnes de l'Anti et du Haut Atlas ont amené le Coordonnateur National à déployer des moyens de traitement au Sud du pays pour intercepter les essaims au plus loin et pour donner aux décideurs régionaux le temps et l'espace nécessaires pour défendre leurs secteurs respectifs. Ces interventions en profondeur avec de puissants moyens aériens et terrestres, tout en brisant les

(*) C'est à l'état grégaire que le criquet pèlerin devient une cible justiciable d'un déploiement de moyens de traitement.

grands essaims, permettaient aussi d'éviter les sur-traitements de certaines zones rejetant ainsi les inconvénients écologiques des traitements vers des zones désertiques. Au printemps 1988, les invasions étaient tellement vastes et généralisées qu'il fallait recourir en plus d'un dispositif profond à l'utilisation de moyens aériens lourds. C'est dans ce sens que le Maroc a équipé deux gros porteurs C.130 malgré quelques réserves émanant d'organismes étrangers qui, constatant l'efficacité de cette nouvelle gamme de moyens, ont fini par suivre le mouvement.

Cette stratégie de lutte qui apparaîtra plus clairement avec l'organisation régionale de la lutte a privilégié l'élément humain malgré toute la panoplie des moyens matériels déployés tout en s'appuyant sur la rationalisation des activités de lutte sur le terrain.

C'est ainsi qu'à titre d'exemple, les prospections de champs larvaires ont fait l'objet d'une étude informatique pour éviter les tâtonnements et les pertes de temps et de finances. Tous les essaims étaient répertoriés et leurs coordonnées Lambert saisies par ordinateur. Des échantillons de criquets furent disséqués et analysés pour déterminer la présence de femelles pleines. Si tel était le cas, l'essaim était déclaré «pondant». Le programme élaboré par le service informatique de la Gendarmerie Royale permettra ensuite de communiquer aux organismes chargés de la lutte sur le terrain les lieux exacts où des prospections devraient normalement mettre en évidence la présence de larves de tel ou tel stade. Cette information précieuse a permis d'établir des calendriers de sortie de prospection et donc de déterminer les priorités compte tenu des stades larvaires et d'autres contraintes telles que l'éloignement du site infesté, les dimensions de la zone à prospecter etc.

Dans la mise en oeuvre des moyens humains et matériels, les transmissions, arme de la coordination, ont joué un rôle de premier plan.

Mais de telles opérations, même bien conçues, ne pouvaient même pas être envisageables sans un soutien logistique permanent et adéquat.

Les aspects logistiques de la lutte anti-acridienne

Pour que la manoeuvre opérationnelle ait des chances de réussir, il fallait lui adapter la manoeuvre logistique. C'est ainsi que prenant en compte le délai d'intervention relativement très court de même que les impératifs de la manoeuvre opérationnelle, exceptionnellement nocturne, le Coordonnateur National a décidé de doter tous les échelons de coordination et de lutte de moyens autonomes qu'ils peuvent mettre en oeuvre suivant l'appréciation qu'ils font de la situation sur le terrain. C'est aussi dans ce sens que des dépôts de carburant et de produits de traitement ont été implantés dans tous les chefs-lieux des PCR et des sous-PC. L'organe central de coordination à l'échelon national veille aux ravitaillements et à l'approvisionnement des dépôts pour éviter la rupture des stocks.

La dissémination des points logistiques à travers le territoire national a été déterminée suite à des études menées dans les zones les plus menacées ou d'accès difficile. La qualité des produits de traitement de même que les quantités affectées à chaque zone étaient fixées en prenant en compte l'importance des superficies menacées et les données agricoles de la région (utilisation du décis dans la vallée du Souss, produit biodégradable dont la rémanence est faible).

Les difficultés d'approvisionnement du Maroc à un moment où la demande internationale était forte, a amené les décideurs à prospecter les marchés européens et américains et à gérer les disponibilités nationales pour éviter les ruptures de stocks. C'est ainsi que,

ignorant pour une fois le principe du coût-efficacité, il a été procédé de nuit au transport par voie aérienne de pesticides européens vers l'aéroport d'Agadir. La même nuit, deux C.130 ont chargé le produit et l'ont déposé à Errachidia sur une piste immédiatement aménagée pour l'atterrissage nocturne. Le lendemain matin, l'essaim signalé la veille à Bouarfa était traité par le produit, qui moins de 24 heures, était alors stocké quelque part aux Pays-Bas. Cet exemple montre à quel genre de problèmes logistiques, l'autorité Nationale chargée de la coordination devait faire face en ce printemps «chaud» de 1988.

Tirant les enseignements de cette dure campagne, il a été décidé de procéder à des achats pour faire face à la prochaine campagne automnale. Les produits étaient alors importés par voie maritime, ce qui a permis de faire des économies substantielles tout en maintenant les stocks régionaux et national à des niveaux appréciables.

Parallèlement à l'implantation des dépôts logistiques, il a été procédé à l'aménagement de pistes d'atterrissage ou encore à leur construction. La répartition de ces pistes, leurs caractéristiques (dimensions, orientation, etc.) ont été saisies par ordinateur pour permettre une meilleure utilisation de la composante aérienne dont l'intervention est conditionnée par les infrastructures d'accueil.

Les activités induites

Elles concernent trois grands domaines :

- La santé et l'écologie,
- La recherche et la formation,
- La Coopération.

La santé et l'écologie ont été, dès le départ, au centre des préoccupations du Coordonnateur National. Ainsi, des directives concernant le danger que représentent les pesticides ont été données aux différents intervenants dans le cadre de la lutte anti-acridienne. Les populations ont été sensibilisées et la Gendarmerie Royale veillait à la destruction des cadavres de criquets traités à proximité des agglomérations ; les agriculteurs ont été suffisamment avisés à l'avance pour prendre leurs dispositions afin de protéger leurs ruchers.

D'autre part, il a été décidé depuis que les moyens aériens étaient suffisamment renforcés, de procéder aux opérations de traitements loin des zones habitées, et de préférence, au plus loin dans les régions désertiques du Royaume.

Ceci a permis d'éviter, comme il a été déjà dit plus haut, les sur-traitements de certains terrains et d'épargner à la flore et à la faune les inconvénients des effets toxiques des pesticides. Des prélèvements de sol et d'eau ont été effectués et envoyés à des fins d'analyse soit dans des laboratoires nationaux soit à l'étranger, principalement en Allemagne.

En outre, des mesures préventives ont été prises quant à la santé des hommes, principalement ceux en contact direct avec les pesticides. Des contrôles biologiques sont effectués régulièrement pour l'ensemble du personnel en activité dans les zones opérationnelles. Dans le cas des pilotes, le contrôle est hebdomadaire. Des trousseaux de contrôle offertes par l'USAID permettent de déterminer à l'avance et sans signes symptomatiques quelles sont les personnes à écarter des opérations de lutte.

Sur le plan de la recherche, il a été procédé, pour une meilleure compréhension du phénomène acridien, à des études sur le déplacement des essaims, les axes de prédilection de leur progression ainsi que les zones les plus exposées à ces invasions. Pour la zone de

Guelmim qui était la plus infestée, la recherche a porté sur les corrélations pouvant exister entre l'intensité des invasions acridiennes et les phénomènes météorologiques. D'autres données sont consignées dans le journal de marche édité actuellement à 27 volumes de plus de 200 pages chacun et relatant toutes les activités ainsi que toutes les observations et constatations faites au fil des jours depuis le début des opérations jusqu'à la mise en veilleuse du dispositif de lutte. S'agissant des matériels, les techniciens marocains ont construit des atomiseurs-canon et équipé de façon artisanale des avions gros porteurs dont l'efficacité n'est plus à démontrer : 6 000 ha par sortie.

Enfin, s'agissant de la recherche universitaire, des directives ont été données pour inviter les étudiants à consacrer leurs mémoires et thèses à des sujets traitant de l'acridologie.

Sachant «que les armes ne valent que par ceux qui les servent», un accent particulier a été mis sur la formation des hommes à tous les niveaux, ceci en plus de l'expérience et du capital de savoir faire qu'ils ont acquis sur le terrain.

Les capacités techniques des cadres engagés dans la lutte anti-acridienne ont permis au Maroc d'apporter à plusieurs pays d'Afrique et du Moyen Orient son expérience dans divers domaines intéressant la lutte contre le fléau acridien. C'est ainsi que durant l'année 1989, la FAO et l'USAID avaient fait appel aux techniciens marocains qui ont participé à ce titre à plus de 20 missions au Niger, en Mauritanie, au Tchad, au Burkina Faso, au Mali, au Soudan, etc.

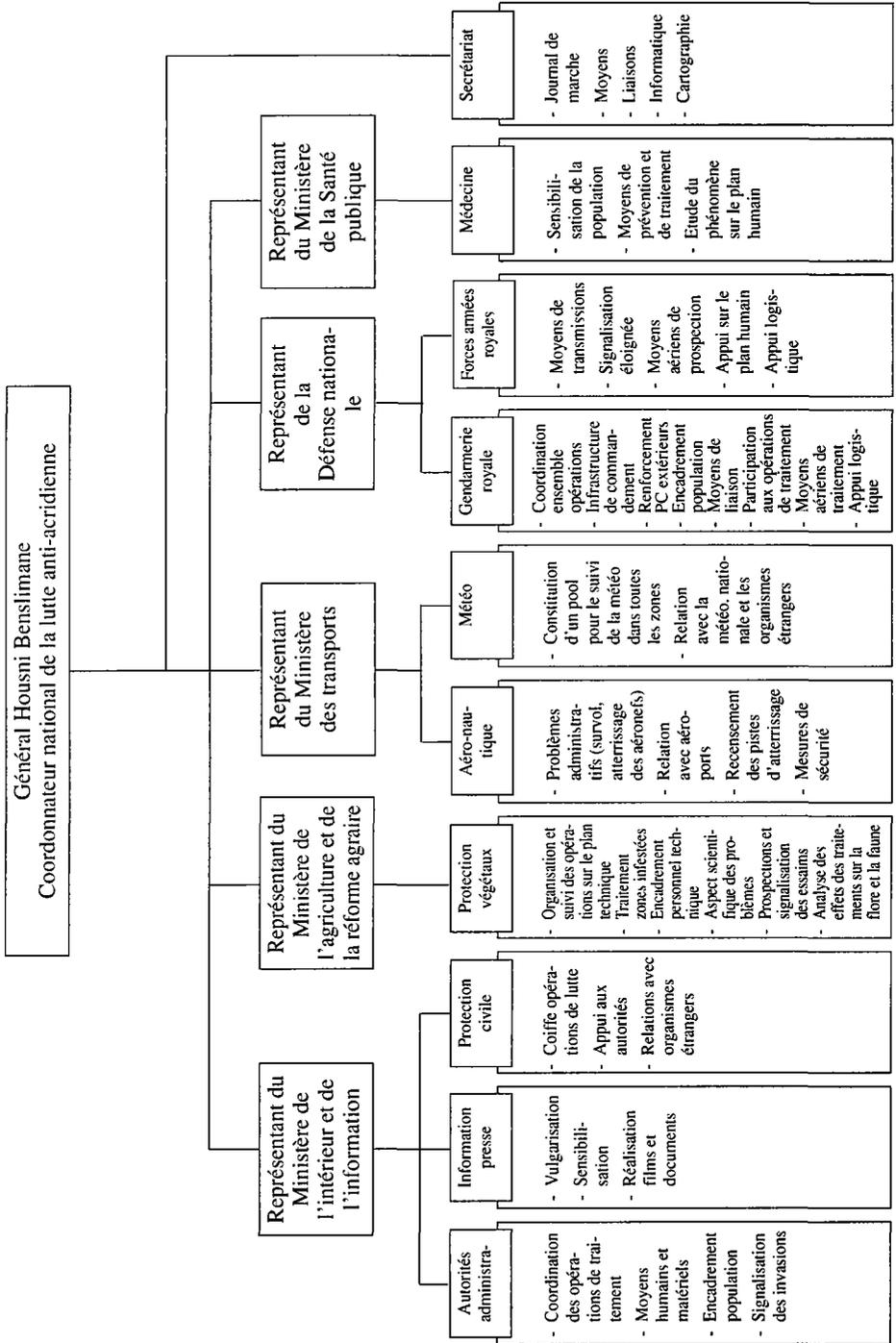
Pour sa part, le Maroc a bénéficié de l'aide matérielle de plusieurs pays frères et amis.

Conclusion

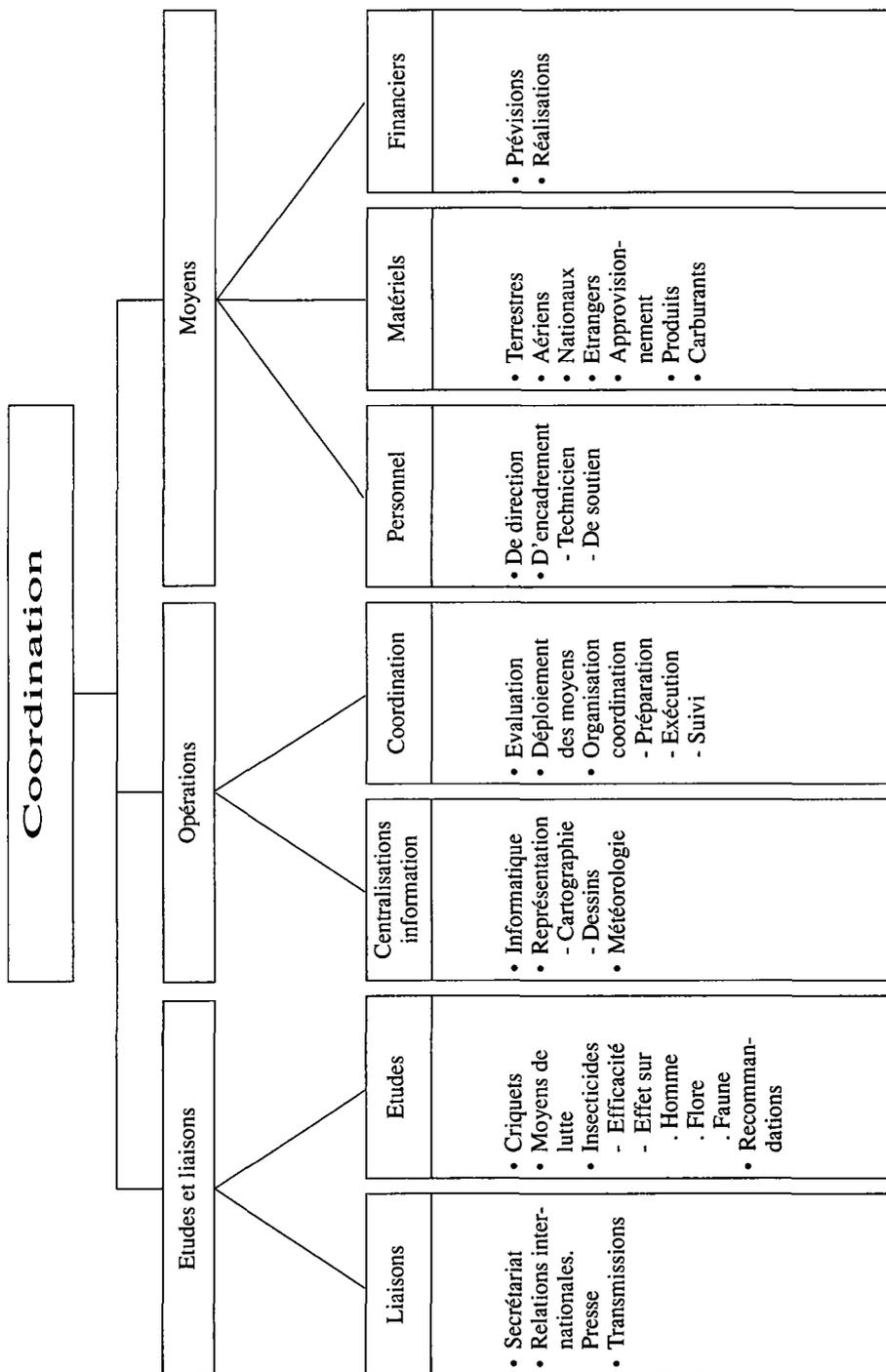
On peut dire qu'à la lumière de l'expérience acquise lors des campagnes précédentes de lutte contre le criquet pèlerin, certains enseignements peuvent d'ores et déjà être tirés :

- A menace exceptionnelle, moyens exceptionnels,
- Un problème national à caractère multidisciplinaire requiert pour sa résolution un organisme interministériel doté de larges pouvoirs,
- Dans toute action, le facteur humain est déterminant,
- La circulation de l'information est primordiale.
- La lutte anti-acridienne est une affaire nationale mais aussi internationale.

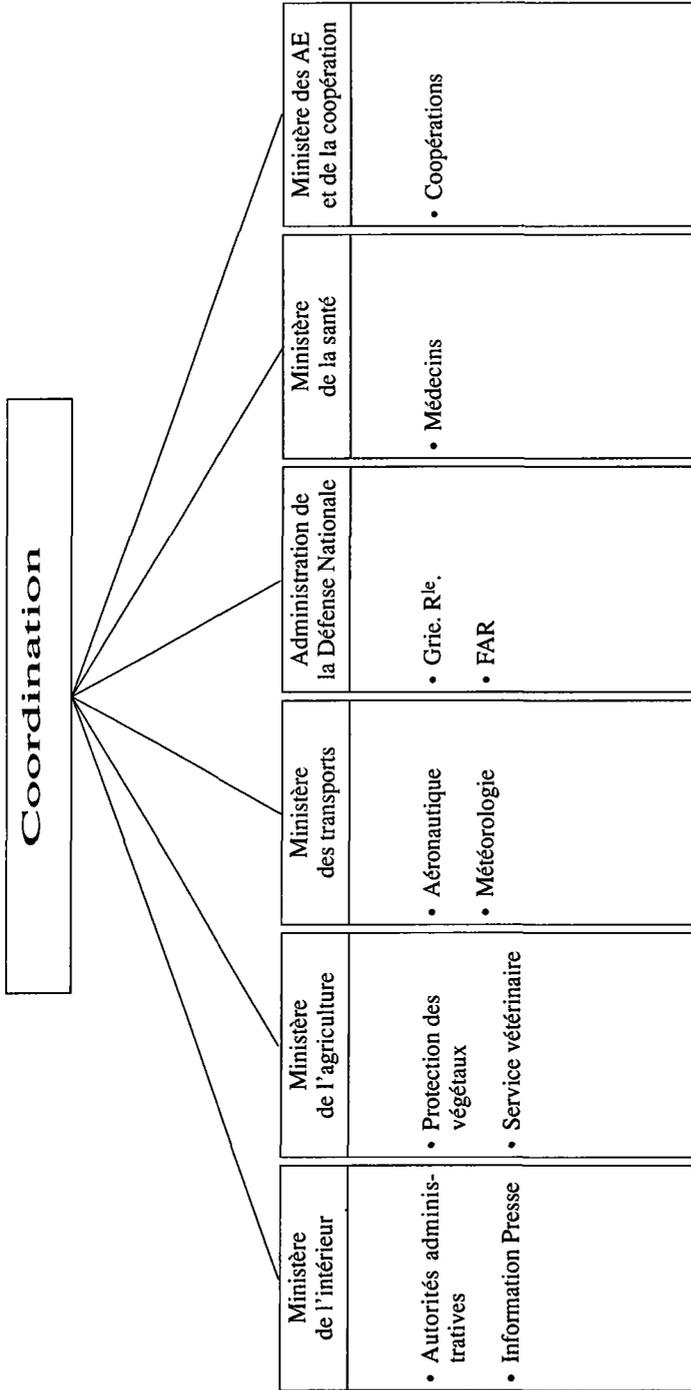
Annexe 1. Organigramme du PC central de la lutte anti-acridienne



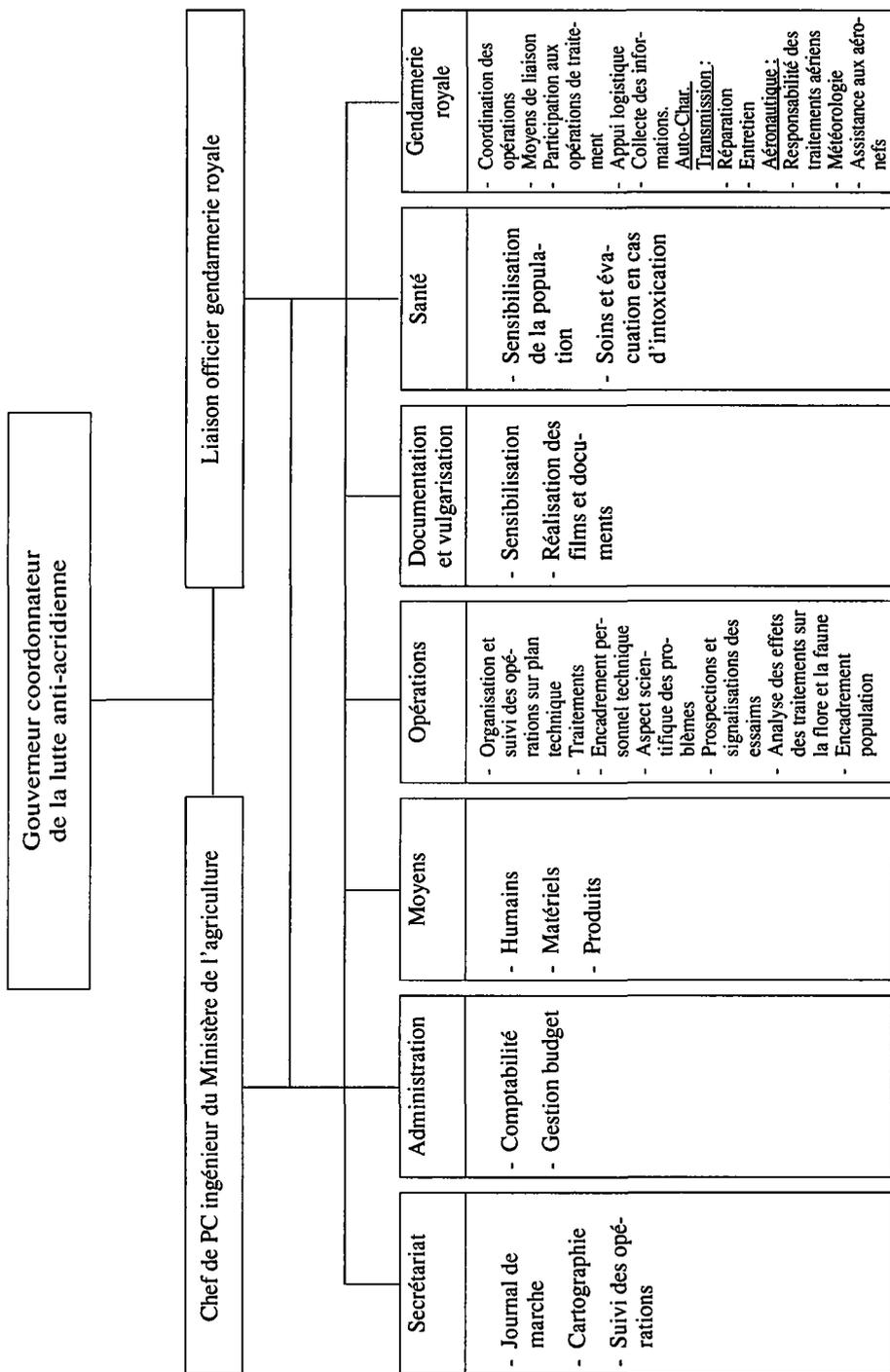
Annexe 2. Organigramme fonctionnel du PC Central Rabat



Annexe 3. Participation lutte anti-acridienne



Annexe 4. Organigramme d'un PCR



Annexe 5. Situation des superficies totales traitées en hectares depuis la première invasion (27 octobre 1987 - 5 mars 1989)

PC	Voie aérienne	Voie terrestre	Superficie totale
Oujda	24 120	46 033	70 153
Bouarfa	266 868	144 002	410 870
Errachidia	247 973	180 122	428 095
Ouarzazate	594 999	187 601	782 600
Tata	542 095	137 361	679 456
Guelmim	1 575 039	140 169	1 715 208
Laayoune	249 350	122 328	371 678
Dakhla	8 300	114 465	122 765
Ait Melloul	149 840	6 567	156 407
Missour	8 800	1 140	9 940
Khenifra	11 200	440	11 640
Marrakech	-	100	100
Totaux	3 678 584	1 080 328	4 758 912

4

Caractéristiques morphométriques des populations adultes de *Schistocerca gregaria* (Forsk., 1775) Orthoptères, Acrididae) durant l'invasion du Maroc en 1987 et en 1988.

A. BOUGHDAD

DPVCTRF, BP 1308, Rabat, Maroc

Introduction

Il y a plus d'un siècle, Keppen (1870) (*) pensa déjà que *Locusta*, se présentant sous 2 formes morphologiquement distinctes et réversibles, ne serait que des «variétés» de la même espèce. Malgré le point de vue exprimé par Keppen, le criquet migrateur a été longtemps considéré comme étant séparé en 2 espèces *Locusta danica* et *L. migratoria*.

Il a fallu attendre le célèbre travail d'Uvarov pour se rendre compte qu'il s'agit à juste titre d'une même espèce sous 2 formes : solitaire (= *L. danica*) et grégaire (= *L. migratoria*). Selon la densité des populations et les conditions climatiques, le criquet migrateur présente en effet des caractéristiques propres à chaque forme. Ces variations intraspécifiques portent sur des caractères ethologiques, chromatiques, physiologiques, biologiques, et écologiques. Elles constituent le polymorphisme phasaire. [1, 2, 3, 4, 5]

Ces caractères phasaires évoluent avec des vitesses différentes.

Depuis le travail d'Uvarov [6] et à cause de leur caractère dévastateur des cultures et des parcours, de nombreuses espèces d'acridiens (environ 1%), possédant la capacité de se transformer en formes particulières, sont connues dans les cinq Continents. Leur répartition géographique varie cependant selon l'espèce grégariapte (= Locuste) considérée [7].

(*) : In [3].

Le polymorphisme phasaire acridien se distingue de celui connu chez les insectes sociaux et les pucerons par l'existence d'individus intermédiaires, appelés transiens, entre les formes extrêmes «phase solitaire» et «phase grégaire» [8].

Dans la nature, la sensibilité phasaire varie selon l'espèce, le sexe, les antécédents de la vie, les conditions de groupement ou d'isolement. Ainsi, chez *L. migratoria*, les manifestations de grégarisation sont observées à partir de 2 000 ailés à l'hectare. Chez *S. gregaria*, le même phénomène est déclenché à partir de 500 individus à l'hectare (*Op. cit.*). Il me semble inutile de revenir sur les processus de l'expression du polymorphisme phasaire vue l'abondante littérature dans ce domaine. Le lecteur intéressé peut consulter les ouvrages cités plus haut.

Parmi les critères de distinction entre les phases, la morphométrie est souvent utilisée. Elle présente l'avantage d'utiliser des insectes morts bien conservés.

Dans cet exposé, seront présentés certains résultats morphométriques des populations d'adultes du criquet pèlerin prélevées aux débuts des invasions en 1987 et en 1988.

Matériel et techniques

Au niveau de chaque localité indiquée sur la carte (fig. 1), des adultes sont prélevés tôt le matin avant le traitement ou l'envol de l'essaim. De chaque essaim (= ici population), 100 mâles et 100 femelles sont prélevés, tués et leurs élytres (E) et fémurs postérieurs (F) sont retirés. La longueur de ces organes est mesurée pour chaque adulte. Les mensurations sont exprimées en cm au 1/100^e près. Le rapport E/F est calculé pour chaque adulte.

Les valeurs des rapports E/F obtenus à partir des populations étudiées sont comparées à celles des ratios établis par Dirsch [9]. Trois classes morphométriques d'individus en sont dégagées. Ce sont les adultes appartenant soit à la phase solitaire, soit à la phase transienne, soit à la phase grégaire.

Structure phasaire des populations

L'analyse du polymorphisme morphométrique, caractérisé par les profils E/F permet de considérer la composition phasaire pour chaque campagne d'invasion.

Structure phasaire des populations de Novembre-Décembre 1987

Au début de l'invasion acridienne de 1987, les essaims envahissant le Maroc sont composés d'individus appartenant simultanément aux 3 phases. L'importance de chacune d'elles varie entre les populations et au sein d'une même population selon le sexe considéré.

Variations entre les sexes

Aucun individu, ayant un profil E/F caractérisant la phase solitaire, n'est rencontré dans les populations de Taiba. Les individus prélevés de Doughoulid se caractérisent par la pré-

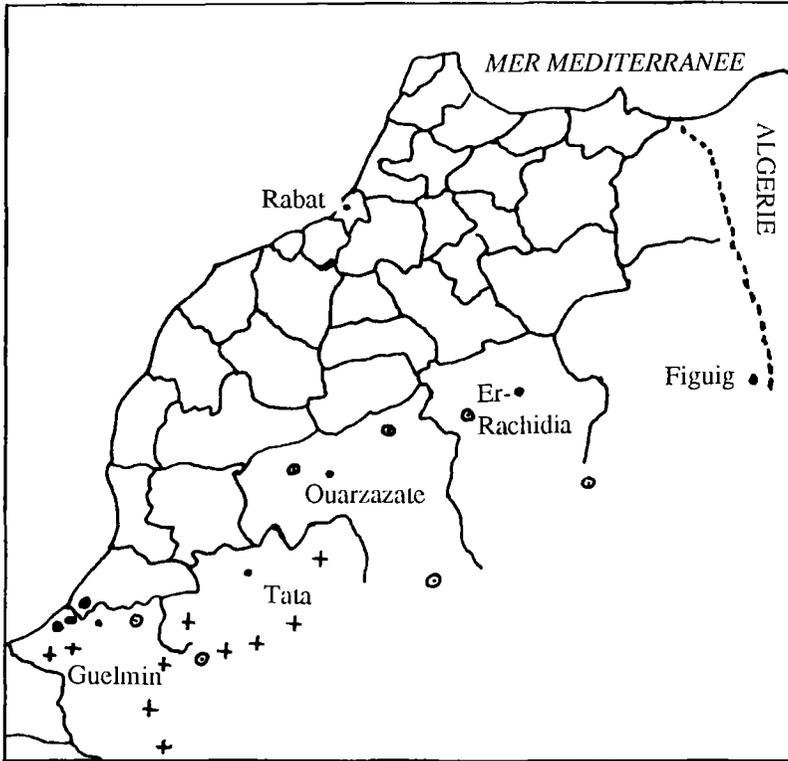


Figure 1. Régions des prélèvements des populations des adultes de *S. gregaria* durant l'invasion du Maroc en Automnes 1987 (+) et 1988 (•)

dominance des mâles solitaires (80%) et l'absence des femelles de la même phase (fig. 2). Pour les autres populations, hormis celles provenant de Maader Sellam où les adultes solitaires des 2 sexes existent dans les mêmes proportions (70%), ce sont les femelles qui sont les plus abondantes; elles représentent entre 30% et 80% des femelles prélevées de ces localités (fig. 2).

Pour les morphotypes transiens, à l'exception des adultes issus soit de Maader Sellam où les deux sexes ont les mêmes effectifs, soit de Doughoulid où les femelles prédominent (50%), ce sont les mâles qui sont les plus fréquents dans les huit autres populations; leurs fréquences relatives varient de 40% à 90% (fig. 2).

Aucun adulte, ayant les caractères morphométriques utilisés de type grégaire, n'est présent dans les essaims passant la nuit à Gourrat Lghazi, à Maader Sellam ou à Taghjjjt. Il en est de même pour les mâles à Zag ou à Doughoulid et pour les femelles à Taskala. Pour les autres populations, ce sont en général les femelles qui sont plus abondantes (de 20% à 60%) que les mâles au sein d'un même essaim (fig. 2).

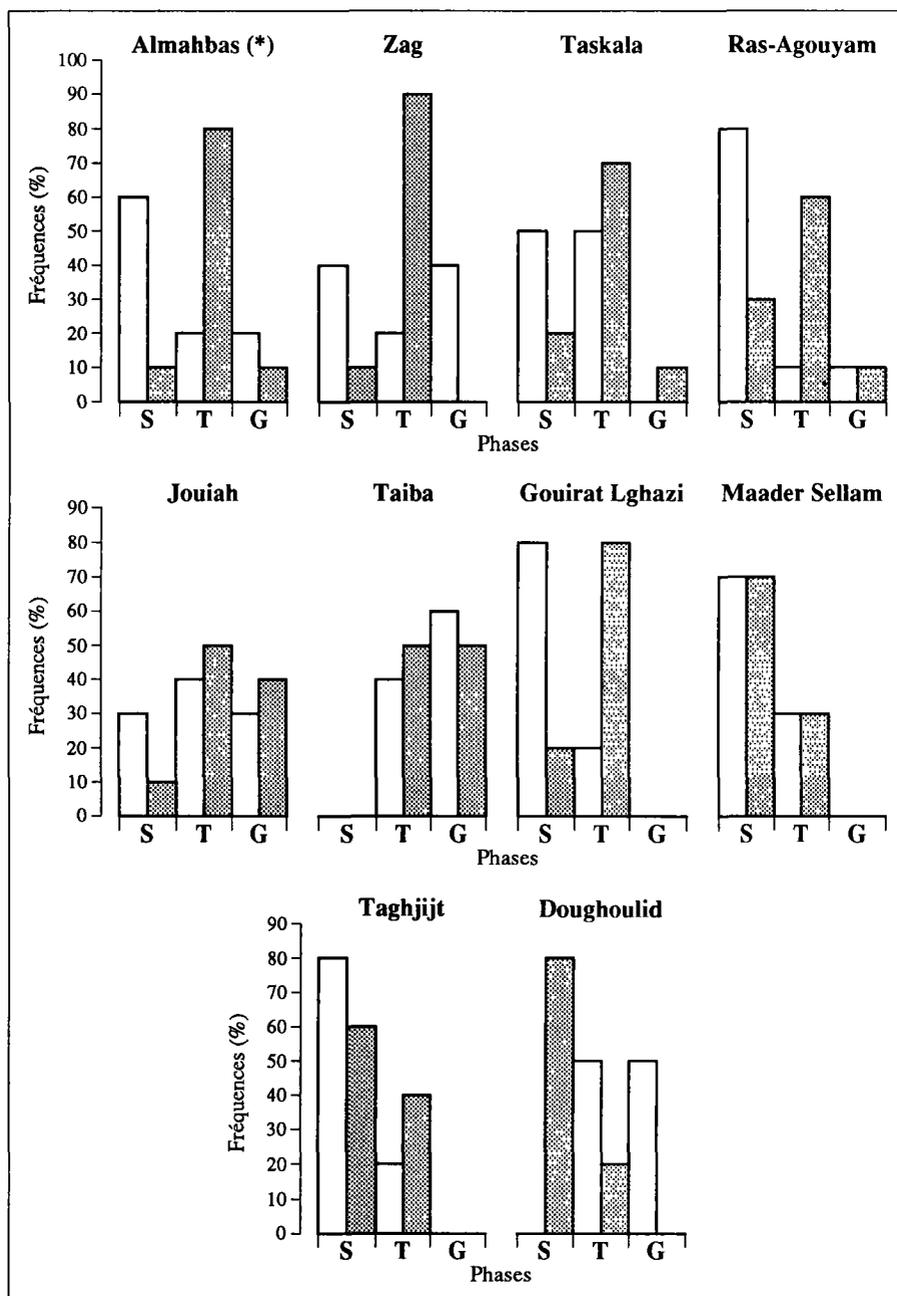


Figure 2. Distribution des fréquences des populations d'adultes de *S. gregaria* (□: ♀; ▨: ♂) selon leur polymorphisme phasaire (S: solitaires; T: transiens; G: grégaires) durant l'invasion du Maroc en novembre 1988.

(*) : Nom de la localité des prélèvements

Variations entre les populations

Pour un même sexe, les pourcentages des adultes ayant des rapports E/F caractérisant chaque forme du criquet pèlerin varient selon leurs provenances.

Chez les mâles, les dix populations étudiées sont composées de 31% de solitaires, de 57% de transiens et de 12% de grégaires. Les individus appartenant à la phase transienne prédominent dans les populations d'Almahbas, de Zag, de Taskala, de Ras Agouyam, de Jouiah et de Gouirat Lghazi. En revanche, dans les populations de Maader Sellam, de Taghjijt et de Doughoulid, c'est la forme solitaire qui est la plus représentée avec respectivement 70, 60 et 80%. A Taiba, il y a autant de formes intermédiaires que de grégaires (50%). Dans les populations de Jouiah, la phase grégaire atteint 40% des mâles échantillonnés. A Almahbas, à Taskal et Ras Agouyam, la forme grégaire est représentée par 10% des mâles prélevés (fig. 2).

Chez les femelles, ce sont en général les individus dont E/F est de type solitaire qui sont les plus fréquents dans les essais provenant d'Almahbas de Ras Agouyam, de Gouirat Lghazi, de Maader Sellam et de Taghjijt. Leurs proportions vont de 60 à 80% (fig. 2). Les formes transiennes ont généralement une importance variable entre les populations, elle oscille entre 10 et 50%. Les individus constituant la phase grégaire sont absents de Gouirat Lghazi, de Maader Sellam et de Taghjijt. Avec 60%, ils sont dominants à Taiba. Pour l'ensemble des populations les formes solitaires, transiennes et grégaires représentent respectivement 49%, 30% et 21%.

Structure phasaire des populations de Novembre 1988

En Automne 1988, la composition phasaire du criquet pèlerin varie aussi selon le sexe et en fonction des populations.

Variations entre les sexes

Les femelles du type solitaire sont plus abondantes que les mâles de la même phase à Ras Tarf, à Mesti, à Assa, à Bouzakerne, à Taznakht et à Tlat Lmakhazni. Leur importance relative varie de 30% à 60% (fig. 3). A Kalaa Megouna, le pourcentage des mâles solitaires est par contre plus élevé que celui des femelles (50% > 40%).

Les formes transiennes, dont l'importance varie selon les populations, sont globalement plus nombreuses chez les mâles que chez les femelles (fig. 3).

Chez les deux sexes, l'ensemble des individus grégaires représente 30% des populations étudiées.

A Foum Fast, mâles et femelles acquièrent les 3 phases avec les mêmes fréquences (fig. 3).

Variations entre les populations

Pour un même sexe, les 3 formes ne sont pas représentées avec les mêmes fréquences dans les populations étudiées (fig. 3).

Parmi les mâles, les individus solitaires prédominent dans les essais prélevés de Bouzakerne et de Kalaa Megouna: 50%. Alors que les morphotypes transiens sont plus

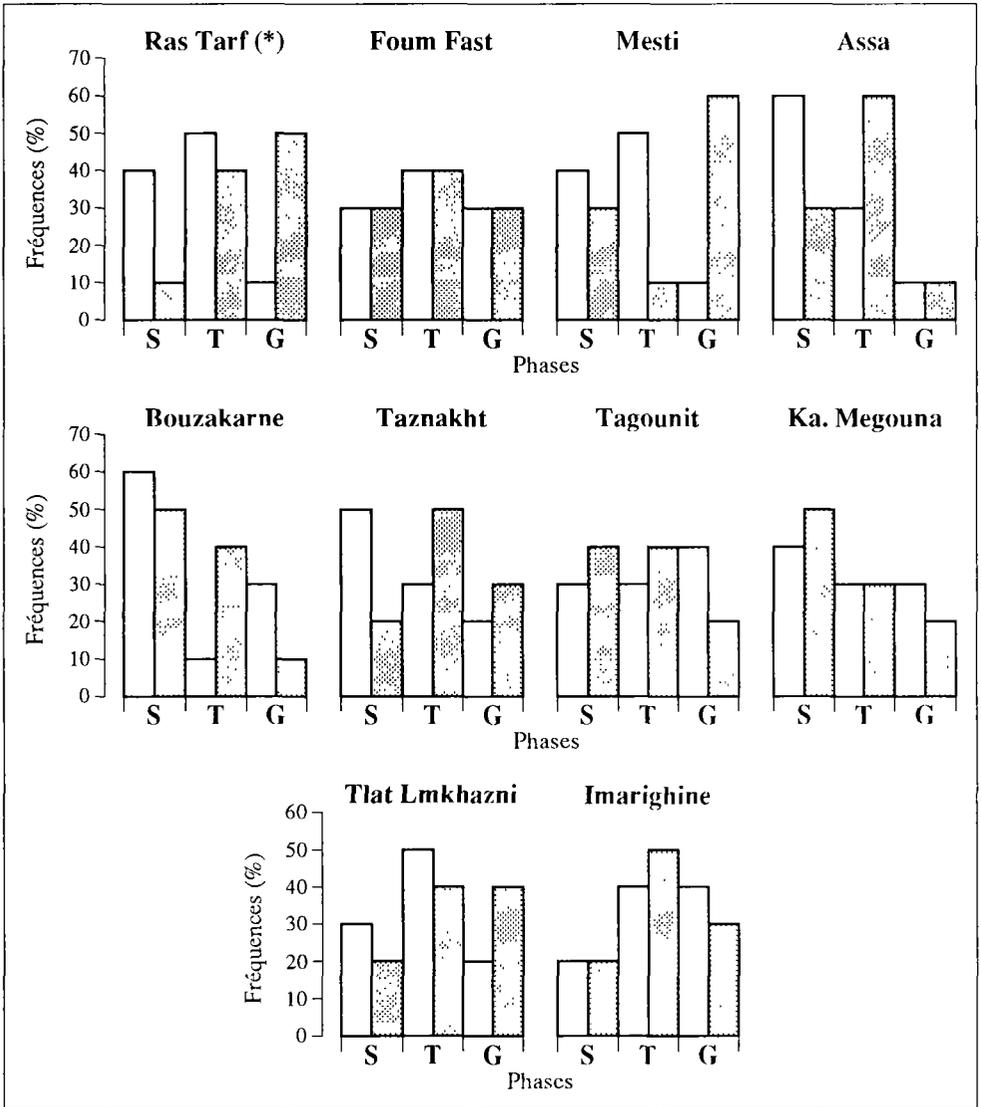


Figure 3. Distribution des fréquences des populations d'adultes de *S. gregaria* (□: ♀; ▨: ♂) selon leur polymorphisme phasaire (S: solitaires; T: transiens; G: grégaires) durant l'invasion du Maroc en novembre 1988.

(*) : Nom de la localité des prélèvements

abondants à Foug Fast, à Assa, à Taznakht et à Imarighine. A Ras Tarf et Mesti, les individus grégaires représentent respectivement 50% et 60% des populations prélevées. A Tlat Lmkhazni, transien et grégaire représentent 40% chacun (fig. 3).

Chez les femelles, les individus à profil E/F de type solitaire ont des fréquences plus élevées à Kalaa Megouna (0,4), à Taznakht (0,5), à Bouzakarne (0,6) et Assa (0,6). Les plus grands pourcentages des transiens se rencontrent à Foum Fast (40%), à Ras Tarf (50%), à Mesti (50%) et Tlat Lmkhazni (50%). Les formes grégaires représentent entre 10% et 40% des populations échantillonnées (fig. 3). Le pourcentage phasaire global des essaims est de 40% pour les solitaires, de 36% pour les transiens et de 30% pour les grégaires.

Variations entre les populations de 1987 et de 1988

La comparaison entre les populations appartenant au même sexe permet de visualiser l'évolution phasaire d'année en année.

Comparaison entre les femelles

Pour la phase solitaire, les adultes de l'ensemble des populations allochtones accusent une réduction dans leur importance, ils passent de 49% en 1987 à 40% en 1988. En revanche, les formes transiennes et grégaires augmentent en proportions chaque année; elles passent respectivement de 30% à 36% et de 21% à 24% des populations (fig. 4).

Comparaison entre les mâles

On rencontre presque les mêmes proportions chez les morphotypes solitaires : 30% en 1987 et 31% en 1988. Les transiens, représentant 57% de l'ensemble des populations en 1987, n'en constituent que 40% en 1988. En 1988 les effectifs des formes grégaires, par contre, dépassent de loin le double des populations étudiées en 1987 (fig. 4).

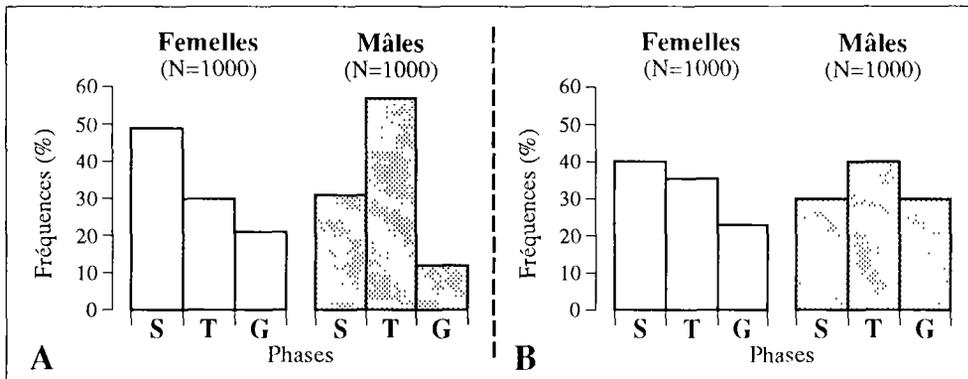


Figure 4. Distribution des fréquences des populations d'adultes de *S. gregaria* selon leur polymorphisme phasaire (S: solitaires; T: transiens; G: grégaires) durant l'invasion du Maroc.

A. en 1987

B. en 1988

Les mâles semblent acquérir plus rapidement la phase grégaire par rapport aux femelles.

Conclusion

Au terme de cet exposé, il ressort que les populations adultes de *S. gregaria* envahissant le Maroc en 1987 et en 1988 sont composées de mosaïques phasaires. Cette juxtaposition des individus appartenant aux 3 phases dans une même population est très bénéfique pour l'espèce; elle lui permet d'étendre son aire de répartition en colonisant d'autres territoires plus favorables à sa reproduction et à son développement. En l'absence de possibilité de diapause, la pérennité de l'espèce serait ainsi mieux assurée.

Les morphotypes grégaires augmentent d'année en année au détriment des phases intermédiaire et solitaire. Aussi les essaims provenant de différentes régions et vraisemblablement de différentes générations, ont-ils pu atteindre les régions de Missour, de Khénifra et de Marrakech en Automne 1988. Alors, qu'ils n'ont guère franchi Tlat Lakhsass et Tafraout en 1987 et ce en dépit des moyens de lutte mis en œuvre moins importants en 1987 par rapport à ceux déployés en 1988.

Références

1. Ellis PE. (1959). Some factors influencing phase characters in the nymphs of the locust, *Locusta migratoria migratorioides* (R et F). *Insectes sociaux*; 6: 21-39.
2. Kennedy JS (1961). Continuous polymorphism in Locusts. In: *Insects polymorphism*, ed Kennedy, pp 80-90, London.
3. Uvarov BP. (1966). Grasshoppers and locusts. Vol 1, 481 p, Cambridge Univ Press, GB.
4. Albrecht FO. (1967). Polymorphisme phasaire et biologie des Acridiens. Ed. Masson et Cie; Paris, 194 p.
5. Rowell CHF. (1971). The variable coloration of Acridoid grasshoppers. *Adv Insect Physiol*; 8: 145-197.
6. Uvarov BP. (1921). A revision of the genus *Locusta* L. (= *Pachytylus*, Fieb.) with a new theory as to the periodicity and migration of locusts. *Bull Ent Res*; 12: 135-163.
7. Odnri. (1988). Manuel de lutte anti-acridienne. Odnri, RU, 191 p.
8. Uvarov BP, Zolotarevsky BN. (1929). Phases of locusts and their interrelations. *Bull Ent Res*, 20 : 261-265.
9. Dirsch VM (1953). Morphometrical studies on phases of the desert locust. *Anti-Locust Bull*, 16, 34 p.

5

L'invasion acridienne en Tunisie et les moyens mis en œuvre pour la combattre

DHOUBI M.H.

INA de Tunis, Laboratoire d'Entomologie, 43 avenue Charles-Nicolle; 1002 Tunis, Tunisie

Le service d'acridologie relevant de l'organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) a tiré la sonnette d'alarme dès 1986 sur l'imminence de l'invasion acridienne qui toucherait un grand nombre de pays d'Afrique.

En effet à partir de 1985, il a été observé un changement de comportement du criquet pèlerin annonçant un début de grégarisation. Les zones concernées se trouvaient de part et d'autre de la mer rouge, aux confins du Niger, du Mali et de l'Algérie et enfin sous forme d'îlots en Mauritanie et au Sénégal. Il s'agit là de régions isolées les unes des autres, mais se trouvant presque à l'intérieur d'une bande transversale, entre le 15^e et le 18^e parallèle nord (fig. 1).

En 1986, la situation a évolué dans le sens d'une extension des zones précédemment décrites avec un début de migration dont les directions diffèrent selon les foyers grégarigènes (fig. 2) :

- de la mer Rouge : les migrations ont intéressé l'Egypte et le Soudan, d'un côté, l'Arabie saoudite de l'autre côté;
- de la zone frontalière : Algérie-Mali-Niger, les déplacements ont pris la direction Maroc-Afrique du Nord;
- de la Mauritanie-Sénégal, les essaims se sont dirigés vers le sahara occidental et le Maroc.

Des articles parus, sur la presse, se sont faits l'écho de ces déplacements et ont cherché à sensibiliser l'opinion du pouvoir public sur les risques qui pourraient en découler.

En 1987, les aires grégarigènes tendent à se rejoindre pour former une bande large et qui va de la mer rouge jusqu'à l'océan atlantique, de là les essaims vont se disséminer pour envahir principalement la Mauritanie, le sud du Maroc. Quelques îlots ont été repérés cependant au sud de l'Algérie, en Tunisie voire dans le sahara de la Libye (fig. 3).

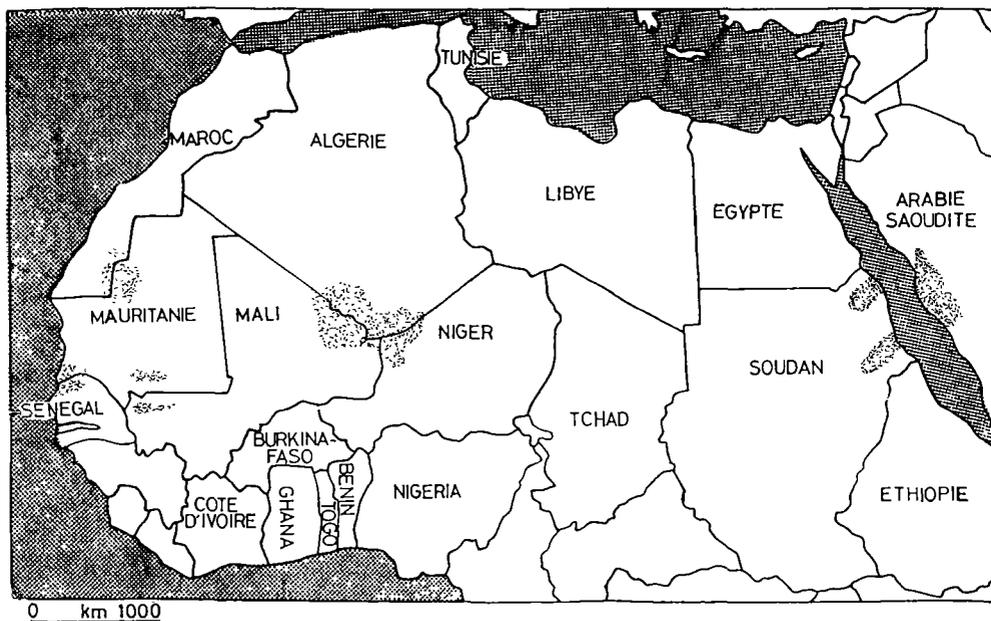


Figure 1. Evolution des essaims du criquet pèlerin à la fin de décembre 1985.

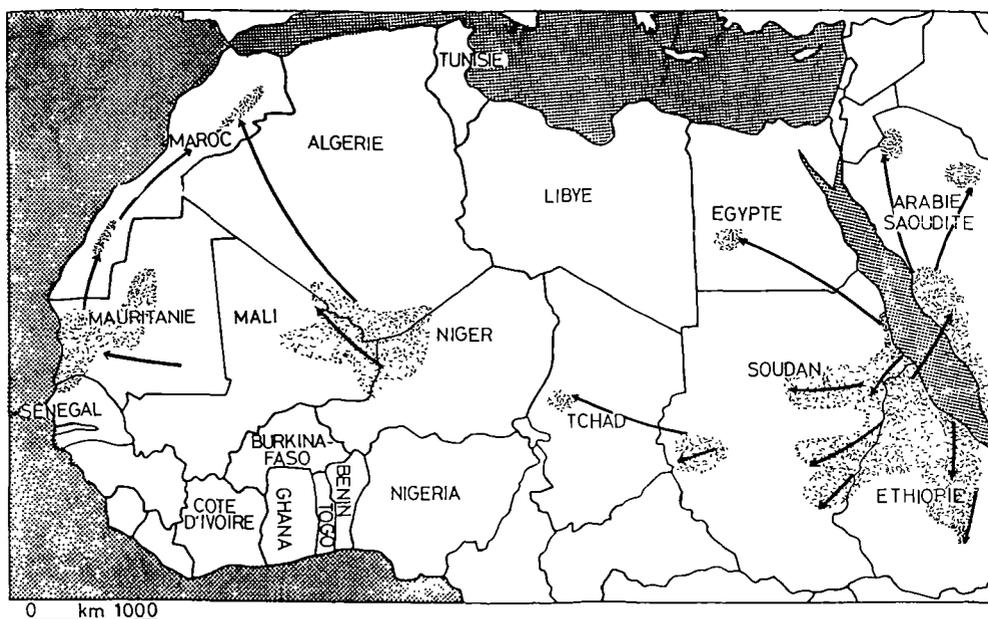


Figure 2. Evolution des essaims du criquet pèlerin à la fin de décembre 1986.

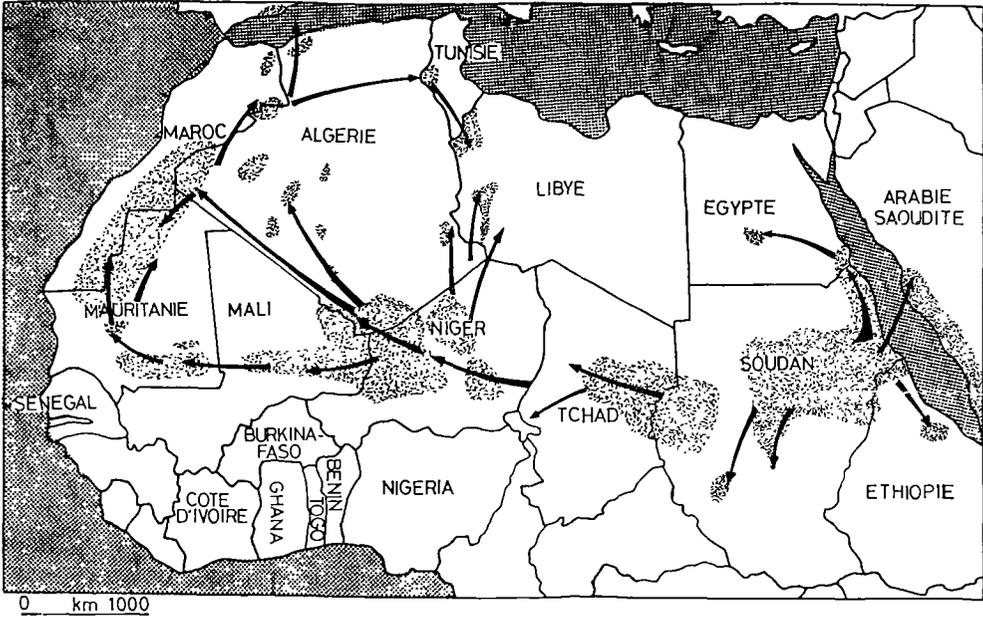


Figure 3. Evolution des essaims du criquet pèlerin à la fin de décembre 1987.

La présence du criquet pèlerin dans le sud tunisien en 1987 est passé presque inaperçue: et d'ailleurs elle était de courte durée puisque le criquet pèlerin n'a pas tardé à regagner la Libye.

Il est à noter que l'année 1987 a connu des conditions favorables (pluies abondantes et températures élevées) (selon les experts du Prifas).

Invasion acridienne en Tunisie

La présence exceptionnelle des pluies abondantes aux confins de l'ensemble Maroc-sahara occidental-Algérie-Mauritanie et de la température anormalement élevée ont été à l'origine de la formation d'un couvert végétal exceptionnel qui a permis une bonne reproduction en décembre 1987 et en janvier-février 1988 donnant des ailés abondants en mars-avril aptes à conquérir successivement le Maroc, l'Algérie et la Tunisie (fig. 4).

Donc les criquets qui ont envahi la Tunisie ont pris naissance dans les régions autres que celles des aires grégariques. A la même période à partir de la Mauritanie des essaims se sont dirigés vers le Sénégal et les îles du Cap vert. Alors que ceux originaires du sud Algérien avaient pris la direction sud ouest Niger-Mali.

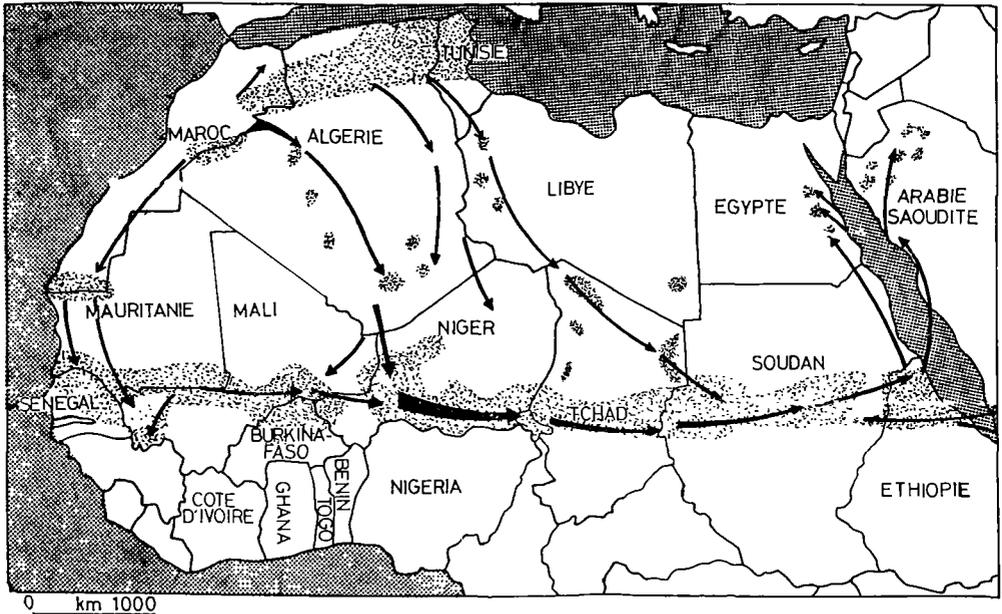


Figure 4. Evolution des essaims du criquet pèlerin de mai à juillet 1988.

Voies de pénétration du criquet pèlerin en Tunisie

La pénétration du *Schistocerca gregaria* en Tunisie s'est produite selon les mêmes itinéraires suivis par le criquet pèlerin lors de l'invasion 1957 à savoir :

- Une voie méridionale qui conduit les essaims à travers le couloir de Gabes vers les plaines de l'est et du nord-est du pays (Gabes, Sfax, Cap-bon).
- Une voie septentrionale, d'ailleurs la plus importante, permettant aux essaims de s'orienter à travers le couloir de Gafsa aux régions du centre et du nord.

Des pénétrations ont été observées cependant à partir du territoire libyen. Elles étaient dues essentiellement aux vents dominants qui, à cette époque, prenaient la direction sud-est nord-ouest.

Ainsi les premiers ailés considérés comme éclaireurs en provenance d'Algérie ou de Libye ont été signalés le 8 mars à Borj-el-Khadra (Gouvernorat de Tataouine) (fig. 5a).

Ce n'est qu'à partir du 15 mars 1988 que les premiers essaims ont commencé leur invasion et se sont succédé par vagues en empruntant les deux itinéraires sus-mentionnés.

Vers la mi-mars de gros essaims ont survolé le Djérid et ont envahi la région de Gafsa. Au niveau du plateau de Gafsa, aidés par les vents dominants, les essaims ont éclaté le 16 et le 17 mars en prenant plusieurs directions vers Sfax, Sidi-Bouزيد et vers Kasserine. D'autres essaims se sont posés les jours suivants sur Kébili, Tataouine, Tozeur, et Gafsa. Au gré des vents dominants les essaims ont ensuite progressé vers le nord du pays où des fragments ayant échappé aux traitements ont été retenus par le relief ou sévissaient des

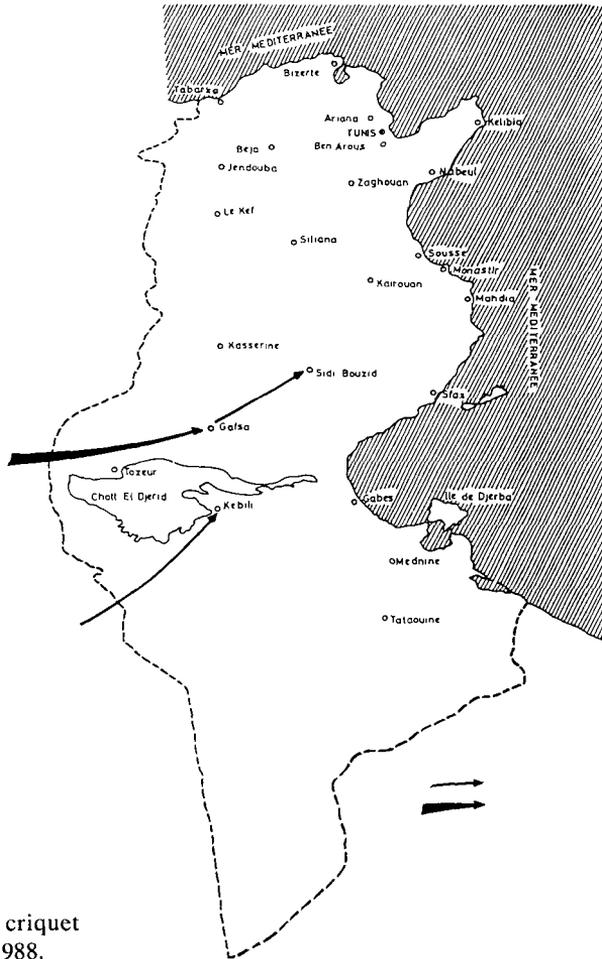


Figure 5a. Voies d'infiltration du criquet pèlerin en Tunisie du 10 au 20 mars 1988.

conditions climatiques favorables. Pendant les mois d'avril et de mai, la plus grande partie des infiltrations a été enregistrée à Siliana et au Kef venant de Tebessa (Algérie), en parallèle des infiltrations du sud ouest vers Gafsa et Kasserine ont eu lieu (figs. 5b, c, d).

Au cours du mois de juin, les vols ont concerné surtout le nord du pays (fig. 5e).

Il y a lieu de signaler la présence lors de la récente invasion de plusieurs essaims de même taille ou de tailles différentes ou semblables qui se rassemblaient pour former un seul. Il y a donc dans la nature de grands et de petits essaims formés de quelques dizaines de millions à quelques dizaines de milliards d'individus.

En dehors de cet aspect quantitatif et qualitatif, nous avons observé deux formes d'essaims :

- *essaims cumuliformes* : qui volent à très haute altitude, supérieure à 1 000 mètres, sont peu fréquents. Généralement, sont constitués par des populations ayant passé la nuit

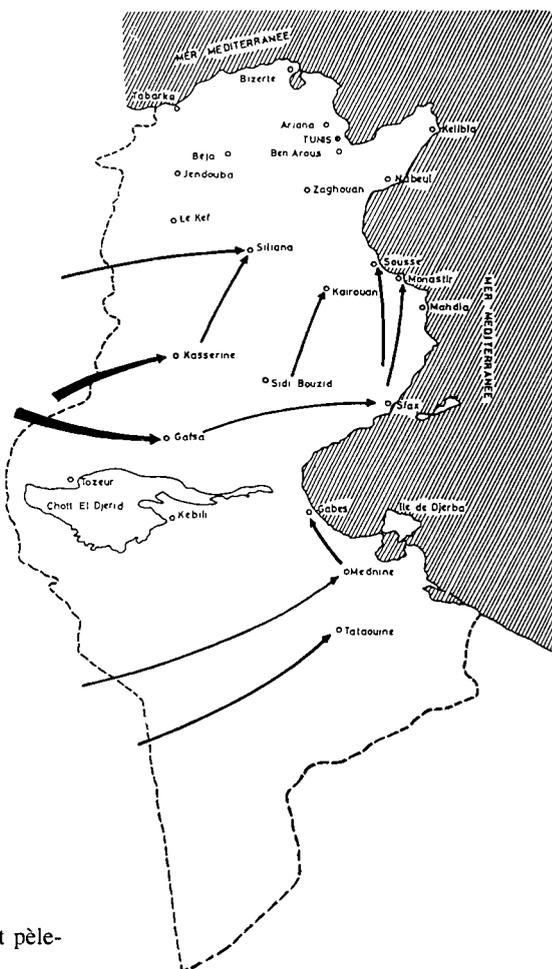


Figure 5b. Voies d'infiltration du criquet pèlerin en Tunisie du 21 au 30 mars 1988.

sur le territoire algérien à proximité des frontières tunisiennes, le lendemain s'envolent pour atterrir au centre du pays (Sidi-Bouzid). De ce fait sont capables de parcourir de très grandes distances (300 km) aidés en cela par les courants ascendants.

- *essaims stratiformes* : leur altitude ne dépasse guère les 1 000 mètres et ils constituent les principales infiltrations. Le déplacement des essaims est fonction de la direction et de la vitesse des vents dominants.

La pénétration des essaims formés d'individus transiens congregans ou grégaires, dans le territoire tunisien a lieu le plus souvent après quinze heures (15 h) et l'atterrissage des criquets survient à la tombée du jour. L'envol des criquets peut être déterminé par l'état physiologique, le vent et la température.

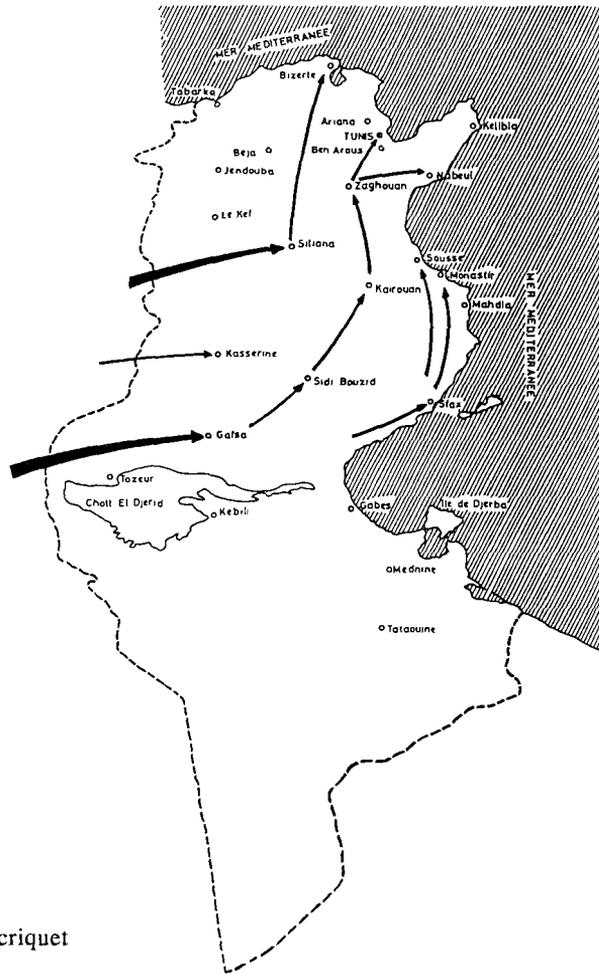


Figure 5c. Voies d'infiltration du criquet pèlerin en Tunisie en avril 1988.

Par contre l'envol d'essaims formés par des criquets immatures a eu lieu durant la matinée. Lors de nos observations, nous avons noté que les criquets avant de s'envoler doivent passer un moment de réchauffement.

Ainsi après le levé du soleil, les criquets se mettent perpendiculairement aux rayons solaires pour augmenter leur température interne. Quand le vent est fort et souffle par rafales, il gêne l'envol, et les criquets se mettent alors à l'abri du vent et ou s'accrochent aux tiges, rameaux poteaux etc.

En ce qui concerne les adultes sexuellement mûrs ils ne s'envolent qu'après accouplement et ponte.

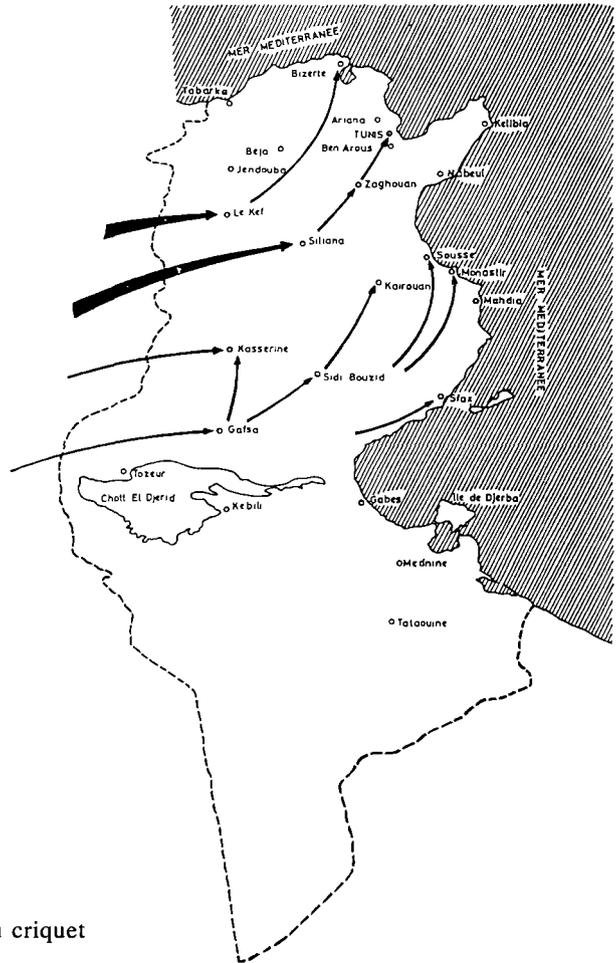


Figure 5d. Voies d'infiltration du criquet pèlerin en Tunisie en mai 1988.

En réalité, un essaim est formé d'individus se trouvant à des stades physiologiquement différents. Ce qui fait que l'on va assister à des départs échelonnés : les immatures sont les premiers à partir, juste après la période de réchauffement, sous forme d'éclats successifs.

Etat physiologique et reproduction des essaims envahissant la Tunisie

Depuis la première infiltration jusqu'à la première quinzaine du mois d'avril les essaims venant d'Algérie sont principalement constitués de jeunes ailés immatures caractérisés par

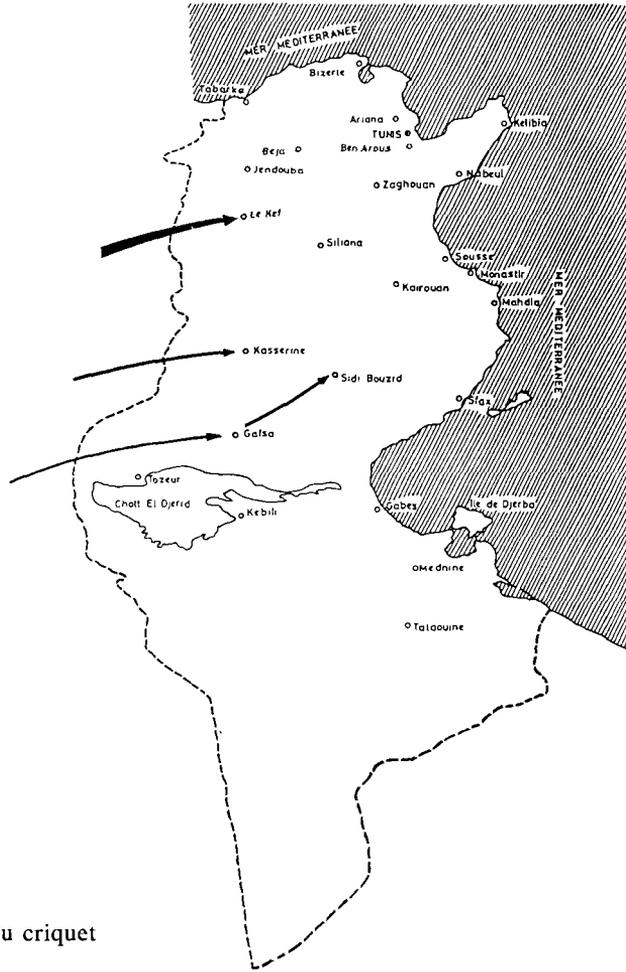


Figure 5e. Voies d'infiltration du criquet pèlerin en Tunisie en juin 1988.

leur couleur rosâtre. A partir de la deuxième quinzaine d'avril, le degré de maturité devient nettement plus avancé.

Durant le mois de mai, les essaims se trouvant en Tunisie sont sexuellement mûrs avec un faible pourcentage de jeunes immatures. Un mois plus tard, nous avons observé à la dissection parmi les populations présentes, un certain nombre de femelles ayant des ovaires vides ce qui signifie qu'elles ont déjà pondu vraisemblablement avant leur pénétration. Mais les premières pontes en Tunisie n'ont été notées que début mai sous forme de tâches éparpillées. Les premières éclosions ont été enregistrées début juin.

Dans ces conditions on peut conclure que la durée d'incubation est d'une vingtaine de jours environ.

Les premières larves sont apparues début juin, mais pratiquement n'ont pas pu évoluer, en raison des traitements dont elles furent l'objet (voir plus loin).

Les premières zones touchées par l'invasion acridienne c'est-à-dire celles qui sont limitrophes de l'Algérie et de la Libye (Medenine, Kebili, Gafsa...) ont été caractérisées par un printemps sec et chaud. Ces conditions climatiques n'étaient pas favorables à la reproduction du criquet. Les pontes dans ces régions étaient pratiquement nulles.

En revanche les zones plus septentrionales (Kasserine, Sidi Bouzid, Kef...) ont connu un printemps assez pluvieux avec des températures oscillant entre 15 et 30°C (Ex. Siliana), ce qui a favorisé l'activité de ponte du criquet, laquelle a été observée essentiellement dans les Oueds et les terrains à sols meubles (région de Haffouz à Kairouan par exemple) (fig. 6).

Après cette période de reproduction, les adultes ont probablement amorcé leur retour en états dispersés à partir du mois de juin vers des zones de conditions climatiques plus favorables principalement le Sahel caractérisé par un été pluvieux.

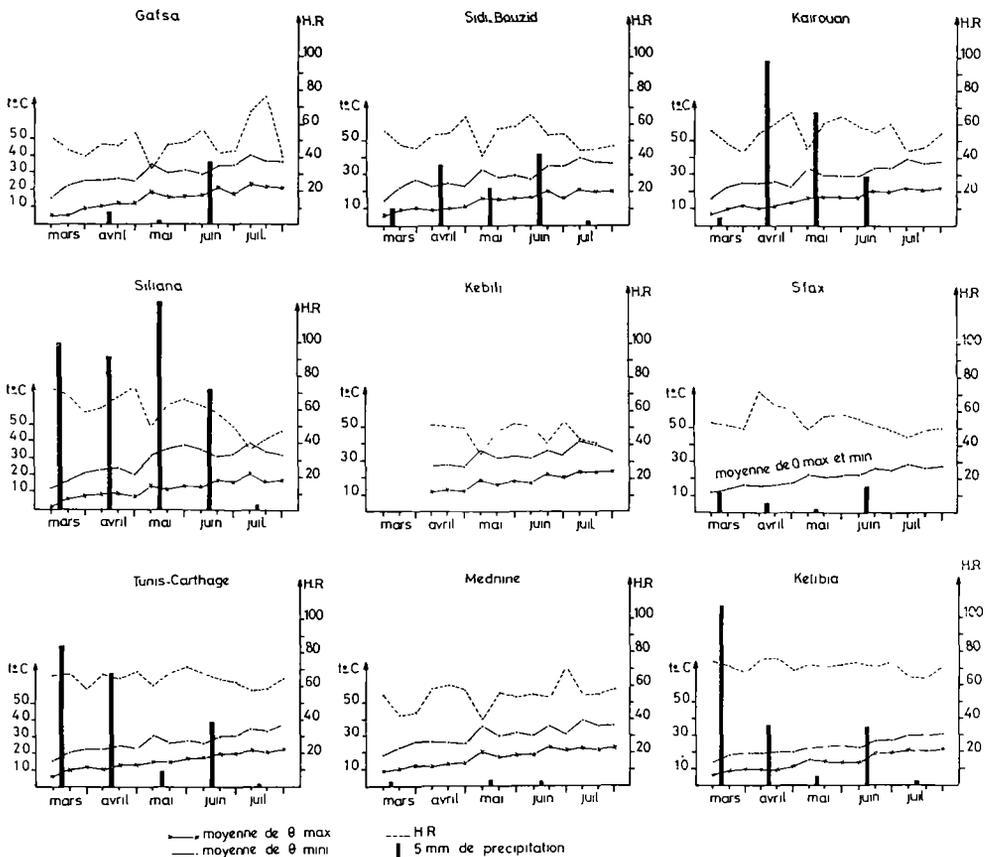


Figure 6. Courbes des moyennes de θ_{max} et de θ_{min} et de l'H.R. des zones envahies par criquet pèlerin, de mars à juillet 1988.

Dégâts causés par les criquets

En Tunisie, les conséquences sur la végétation ont été minimales, soit au fait que l'arrivée du criquet pèlerin en Tunisie a coïncidé avec la forme transiens congregans qui a évolué rapidement en transiens dissocians, soit à la rapidité d'interventions qui ont entraîné la mortalité quasi totale des essaims. Toutefois des dégâts ont été observés par-ci et par-là, mais sous forme de tâches très localisées (vergers, amandiers, figuiers...).

Lutte anti-acridienne

La lutte anti-acridienne a mobilisé tous les moyens disponibles même si au départ tout se passait comme si on était pris au dépourvu : non disponibilité des produits, la méconnaissance des doses à employer et des techniques à appliquer.

Il est vrai que le produit acridicide qui a fait ses preuves, la diéldrine, fut l'objet de controverse compte tenu de ses effets collatéraux sur l'environnement, en effet une polémique s'est développée à propos de ce produit, très efficace, bon marché, mais très préjudiciable aux équilibres naturels; d'ailleurs sa synthèse et sa fabrication ne sont plus autorisées dans certains pays. Il fallait donc trouver rapidement des produits de substitution, efficaces et bon marché de manière à faire face à la présence du fléau.

C'est pourquoi nous avons commencé par l'utilisation des produits insecticides disponibles, en cherchant à expérimenter d'autres matières actives, déterminer le moment d'intervention selon le mode de traitement.

Une lutte rationnelle aurait dû viser la formation des transiens congregans ou acridiens grégaires, sinon leur destruction dans leur foyers grégarigènes (foyers d'origine). Cela aurait nécessité moins de produits (traitements localisés) et aurait eu moins d'effets sur l'environnement. Jusqu'à lors cet objectif n'était pas atteint et encore moins visé par les pays concernés par le fléau acridien, en raison sans doute de la difficulté de leur délimitation dans l'espace.

Actuellement, les pays concernés cherchent à détruire les essaims en migration et les bandes larvaires qui en sont issues.

En Tunisie, la campagne anti-acridienne a été basée essentiellement sur la lutte chimique en mobilisant tous les moyens humains et matériels disponibles.

Organisation de la campagne

Comité nationale de vigilance et de lutte contre le criquet

Ce comité regroupe les représentants des différents ministères (de l'Intérieur, de l'Agriculture, de la Santé publique, de la Défense nationale, du Plan, des Finances et de l'Institut National de Météorologie).

Le rôle du comité est de coordonner toutes les actions relatives aux prospections et aux interventions. Le siège est au PC à l'Aouina.

- Le comité national est assisté par les responsables des cellules spécialisées :
- *Cellule d'acridologie* : suivi technique, préparation de documents à la presse, choix des pesticides, flash à la télévision.
 - *Cellule logistique* : matériel de traitement, balisage, produits, stockage des acridicides à l'échelle centrale et régionale.
 - *Cellule dotée de moyens d'informatique* : données relatives aux infestations, moyens d'interventions, moyens fournis par la coopération internationale.
 - *Cellule budget* : acquisition de matériels et de produits nécessaires.

Par ailleurs il a été procédé à l'image du Comité National à la création de Comités régionaux au siège du Gouvernorat dans les CRDA et présidés par les Gouverneurs, leur rôle est d'informer le PC Central de la situation des nouvelles infestations, de la situation des stocks (matériel, produit) et de l'état des traitements.

Déroulement de l'opération

Durant la période d'invasion, deux axes d'intervention ont été établis (fig. 7) :

- le premier axe ou ligne de front inclut les gouvernorats suivants : Kef Kasserine, Gafsa, Tozeur, Kébili, Gabes, Médenine et Tataouine.
- le deuxième axe ou ligne de repli, regroupe les gouvernorats de Béja, Siliana, Kairouan, Sidi Bouzid et Sfax. Les moyens mis à leur disposition peuvent être engagés en renfort en cas de grande invasion au niveau de la ligne de front.

Prospection

C'est l'opération la plus importante dans la campagne de lutte anti-acridienne. Elle couvre toute la région; concernant les gouvernorats frontaliers, certains prospecteurs sont équipés de jumelles. Ils donnent les informations sur l'invasion (densité, état physiologique de l'insecte, etc.), état du terrain, conditions météorologiques (vent dominant) et surtout délimitent bien la zone infestée. Ces informations recueillies sur place sont transmises au comité régional qui à son tour les faisait répercuter au comité national.

Exécution des traitements

Pour être efficace, l'opération de traitement anti-acridien doit répondre à des conditions particulières : coïncidence dans le temps et dans l'espace des interventions chimiques avec la présence des populations acridiennes.

La campagne de lutte anti-acridienne a mobilisé tous les techniciens de la défense des cultures ainsi que les cadres régionaux des autres secteurs de l'agriculture.

Traitements aériens

Cette opération de traitement est réservée aux zones d'accès difficile pour les groupes terrestres en utilisant les hélicoptères dans les zones montagneuses ou présentant des obs-

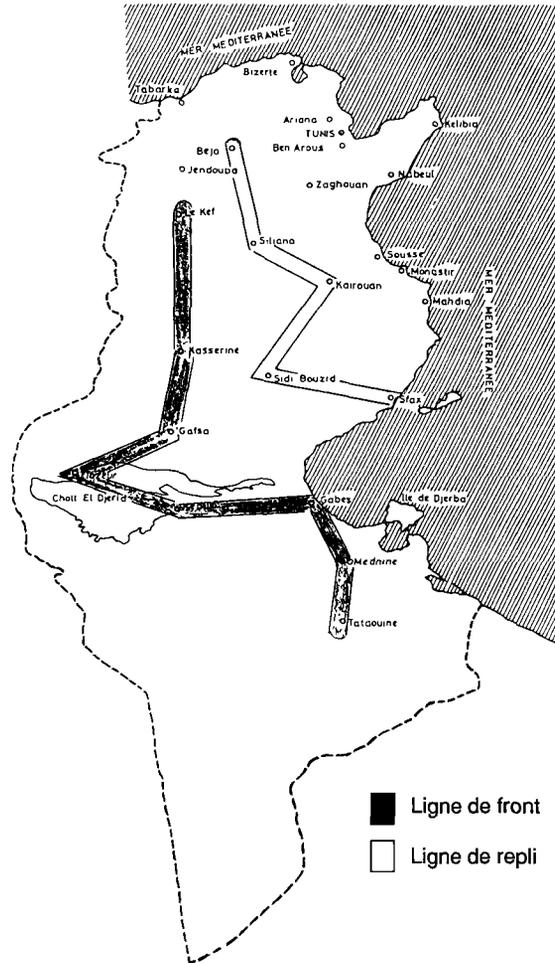


Figure 7. Axes d'intervention

tacles, sinon les avions (pipper, Growman...) en absence de poteaux électriques, téléphoniques et des zones non vallonnées.

Balisage de la zone à traiter

Le balisage de la zone à traiter par avion constitue le point faible de la stratégie adoptée.

L'incinération de pneus usés, de pailles et de chaumes, dégage la fumée.

C'est un moyen très pratique mais peut induire en erreur le pilote si les agriculteurs de la zone infestée utilisent cette méthode pour faire fuir les criquets. Cette méthode a été alors complétée par l'utilisation des véhicules à phare tournant ou de gyrophare.

Cette tâche est exclusivement afférente aux prospecteurs.

Moment de traitement

Contrairement aux traitements terrestres, les traitements aériens ne sont efficaces que sous certaines conditions : conditions météorologiques favorables, absence de vent, bonne visibilité et horaire bien limité.

C'est la raison pour laquelle les traitements ont été effectués après la période de réchauffement de l'insecte; c'est-à-dire assez tôt le matin avant le début d'envol. En zones forestières et arboricoles, le déclenchement des interventions s'est fait un peu plus tard en attendant l'entrée en mouvement des insectes de façon à ce qu'ils soient bien exposés aux traitements.

Traitements terrestres

Ils concernent les zones à terrain plat. Ils sont appliqués très tôt le matin jusqu'à la reprise d'envol des insectes, comme ils peuvent être appliqués le soir. Par ailleurs, il est recommandé de n'utiliser les véhicules équipés d'ENS que pendant le jour et en présence de vent.

Acridicides utilisés

Durant la campagne, plusieurs types de produits ont été employés (poudre, émulsion concentrée et formulations ULV (Tableau I).

Tableau I. Produits chimiques utilisés sur *S. gregaria* ailés en Tunisie.

Groupe chimique	Matière active	Mode d'application	Dose employée
Organochlorés	HCH 25%	Terrestre/poudre	5 kg ma/ha utilisé exceptionnellement dans les zones désertiques
Organo-phosphorés	Malathion 96	ULV	0,8 à 1 l/ha
	Fenitrothion 500	ULV	0,7 à 1 l/ha
	Fenitrothion 50 RC	50 EC	250 cc/hl
Carbamates	Sevin 4 oil	ULV	1 l/ha
	Carbaryl 10%	Poudre	5 kg/ha
Pyréthrinoides	Decis 5 g	ULV	4 l/ha
	Decis EC	EC 25	300 cc/hl

L'invasion acridienne en Tunisie et les moyens de lutte

Produits utilisés contre les larves

Decis EC 25 100 à 150 cc/hl

Pénitrothion 100 à 150 cc/hl

Les quantités d'acridicides utilisées durant la campagne (d'après Ministère de l'Agriculture) s'élevaient à :

- 340,420 litres par voie aérienne

- 76,265 litres par voie terrestre

Superficies traitées contre le criquet pèlerin

Les superficies totales traitées contre *S gregaria* aux stades adulte et larve sont ventilées selon les Gouvernorats et les périodes d'invasion comme suit :

Les superficies totales traitées sont de l'ordre de 360 000 ha réparties selon les stade de l'insecte (Tableaux II, III).

Tableau II. Superficies totales (en hectare) traitées contre les adultes du criquet pèlerin : mars-juillet 1988.

Gouvernorats	mars	avril	mai	juin	juillet	total
Gafsa	26 651	6 580	6 720	7 780	0	47 731
Kef	0	15	24 634	17 021	0	41 670
Sfax	35 431	0	450	0	0	35 881
Kasserine	7 197	8 836	9 606	3 344	0	28 983
Kairouan	3 311	1 127	22 776	950	0	28 170
Sidi Bouzid	11 589	360	9 469	120	0	21 538
Zaghouan	0	350	19 869	20	0	20 239
Ariana	0	13 630	4 442	0	0	18 072
Mahdia	9 077	257	6 228	0	0	15 562
Siliana	1 644	2 500	8 737	150	0	13 031
Beja	0	5 492	6 977	0	0	12 469
Nabeul	1 081	10 096	0	0	0	11 177
Jendouba	0	12	11 098	0	0	11 110
Medenine	417	5837	0	0	0	6 254
Kebili	5 360	0	376	0	0	5 736
Ben Arous	60	800	4 665	0	0	5 525
Tunis	0	0	5 200	0	0	5 200
Sousse	1 375	1 810	1 752	0	0	4 837
Tozeur	3 165	0	165	3	0	3 333
Monastir	3 200	0	0	0	0	3 200
Tataouine	2 220	800	0	0	0	3 020
Bizerte	0	1 912	572	0	0	2 484
Gabès	780	0	355	0	0	1 135
Total	112 558	60 314	144 091	29 394	0	346 357

Tableau III. Superficies totales (en hectares) traitées contre les larves mars-juillet 1988.

Gouvernorats	juin	juillet	Total
Kef	2 381	2 515	4 896
Kairouan	3 448	1 045	4 493
Kasserine	742	1 756	2 498
Siliana	1 112	90	1 202
Zaghouan	409	14	423
Ariana	207	45	253
Beja	50	0	50
Total	8 349	5 465	13 814

- superficie traitée contre les ailés : 346 000 ha
- superficie traitée contre les larves : 13 800 ha
- superficie traitées par voie terrestre : 76 750
- superficie traitée par voie aérienne : 283 000 ha

Les régions les plus touchées par l'invasion acridienne sont les zones frontalières (Gafsa, Kef, Kasserine, Siliana, Béja...).

Néanmoins d'autres gouvernorats du centre (Kairouan, Sidi Bouzid) et même du nord (Zaghouan, Ariana, Mahdia, Nabeul) ont été également envahis par le criquet pèlerin, suite aux éclats qui ont pu échappés au traitement.

Conclusion

La campagne des traitements chimiques menée contre le criquet pèlerin a été couronnée de succès. L'efficacité a été certaine, mais accompagnée de certains effets secondaires qui se sont traduits par :

- des cas d'intoxication d'opérateurs observés sur les lieux de traitements dûs au non-respect des règles préconisées par le fabriquant
- des cas d'intoxication du bétail après consommation de fourrages et de pailles traités
- la mortalité relevée dans certaines zones d'oiseaux et d'abeilles vraisemblablement à la suite d'un surdosage survenu lors des traitements croisés surtout aériens (difficultés de balisage, estimation imprécise de la surface infestée, équipement non approprié aux traitements (ULV).

La surveillance et le contrôle des foyers grégarigènes qui sont relativement limités dans l'espace, revêtent une importance particulière pour prédire et prévenir toute invasion acridienne.

A l'heure actuelle, nous ne disposons que de l'arme chimique pour contenir l'invasion acridienne. Par ailleurs de grands progrès ont été accomplis sur d'autres espèces d'insectes en éthologie et en biologie (génie génétique, substance de croissance et médiateurs chimiques...). Il est souhaitable de favoriser de telles recherches sur le criquet pèle-

rin, recherches susceptibles de conduire à des applications pratiques de grand intérêt (phéromone de grégarisation, hormones et leurs analogues...).

C'est à ce prix seulement qu'on peut s'attendre à mettre fin aux invasions acridiennes et par la même à épargner aux écosystèmes naturels et humanisés les retombées des traitements chimiques menés à grande échelle.

6

Le Criquet pèlerin : enseignements de la dernière invasion et perspectives offertes par la biomodélisation

M. LECOQ

Dr. Sc., Entomologiste, PRIFAS/CIRAD, B.P. 5035-34032 Montpellier Cedex 01, France

Introduction

Le Criquet pèlerin - *Schistocerca gregaria* (Forskål, 1775) de la famille des *Acrididae* et de la sous-famille des *Cyrtacanthacridinae* - est l'une des espèces de criquets les plus importantes à cause:

- de sa grande mobilité (les essaims peuvent parcourir 1000 km en quelques jours),
- de son aire d'invasion très vaste,
- de son grand potentiel reproducteur et de sa capacité à multiplier très rapidement ses effectifs,
- de sa capacité à consommer chaque jour son propre poids de nourriture fraîche,
- de sa capacité à s'attaquer à une très large gamme de cultures et de leur causer des dégâts très sévères.

Cet acridien est considéré depuis l'Antiquité comme l'un des principaux fléaux de humanité dans l'Ancien Monde. Ses ravages s'étendent à la majorité des pays arides et semi-arides, de la côte ouest de l'Afrique à l'Inde. En période d'invasion, les essaims de Criquet pèlerin peuvent envahir une aire couvrant plus de 29 millions de kilomètres carrés, soit plus de 20% des terres émergées.

Après un aperçu des grands traits de la bio-écologie du Criquet pèlerin et de la stratégie de lutte préventive actuellement préconisée, nous verrons les enseignements à tirer de la dernière invasion massive de cet acridien avant d'envisager les perspectives offertes par

les techniques de biomodélisation pour renforcer les capacités de surveillance de sa vaste aire d'habitat et améliorer les techniques de prévention des invasions.

Grands traits de la bio-écologie du Criquet pèlerin

Les phases du Criquet pèlerin

Le Criquet pèlerin appartient à la catégorie des acridiens de type "locuste" présentant un phénomène de polymorphisme phasaire, c'est-à-dire la possibilité de développer des aspects variés et réversibles selon la densité des populations. Ces différents aspects sont désignés sous le terme de phases. Schématiquement, on parle de phase solitaire pour les populations de faible densité et de phase grégaire pour les populations de forte densité.

Le terme de transformation phasaire désigne le passage d'une phase à l'autre. Il existe, par ailleurs, des formes intermédiaires dites *transiens*. On parlera de *transiens congregans* dans le cas d'une évolution de la phase solitaire vers la phase grégaire et de *transiens degregans* dans le cas inverse du passage de la phase grégaire vers la phase solitaire. Le passage de la phase solitaire à la phase grégaire demande en général plusieurs générations successives au cours desquelles les conditions favorisant la transformation phasaire se maintiennent.

Le principal facteur déclenchant est la densité. Des individus grégaires ou solitaires peuvent être obtenus à partir d'une même ponte simplement en élevant les larves nouveau-nées les unes en groupe, les autres isolément. Si les mêmes conditions de densité sont imposées à plusieurs générations successives, on peut passer rapidement, via la phase *transiens*, de la phase solitaire type à la phase grégaire type, ou inversement. Le passage de la phase grégaire à la phase solitaire est cependant souvent plus rapide que l'inverse.

Les effets de la densité doivent être répartis en deux catégories. On doit distinguer les effets immédiats du groupement et les effets transmis à la descendance.

Les effets immédiats sont ceux qui se manifestent sans délai chez les individus subissant la modification de densité. Il s'agira essentiellement (et si l'on s'en tient seulement aux apparences) de modifications comportementales et, chez les larves, de modifications pigmentaires.

Les effets transmis sont ceux qui se manifestent au niveau de la descendance (changements morphologiques, anatomiques, physiologiques, écologiques...).

En fonction du stade de développement, les seuils densitaires de transformation phasaire sont approximativement* les suivants:

Petites larves	50 000/hectare (5/m ²)
Grosses larves.....	5 000/hectare (0,5/m ²)
Imagos.....	250-500/hectare (0,025-0,05/m ²)

Le Criquet pèlerin est ainsi l'espèce connue la plus sensible aux modifications de la densité des populations. Ce seuil de grégarisation très bas est donc facile à atteindre, ce qui explique que les départs d'invasion du Criquet pèlerin soient fréquents et que, dans

* En réalité le seuil de transformation phasaire effectif pourra être sensiblement différent selon le type de formation végétale et d'une manière générale selon les particularités écologiques des biotopes.

l'histoire (sauf depuis 30 ans grâce à la stratégie de lutte préventive), les périodes d'invasion aient été plus fréquentes que les périodes de rémission.

Le mécanisme de la transformation phasaire dans la nature

Comment, dans la nature, se produit le phénomène de transformation phasaire ? Comment passe-t-on de la phase solitaire à la phase grégaire ? Comment passe-t-on d'une période de rémission à une période d'invasion de Criquet pèlerin ?

Trois phénomènes importants vont intervenir :

- la multiplication: permettant une augmentation des effectifs, si des conditions écologiques optimales se maintiennent ;
- la concentration: sur des superficies réduites offrant des conditions favorables au Criquet pèlerin; à l'échelle synoptique grâce au regroupement d'imagos solitaires par les systèmes de vents et/ou, à la méso-échelle, par réduction des surfaces habitables;
- la grégarisation: si la densité critique est atteinte et maintenue au moins le temps d'une génération; en réalité le passage de la phase solitaire type à la phase grégaire type nécessitera le maintien de conditions favorables pendant 3 ou 4 générations successives.

Le premier phénomène dans la succession d'évènements qui vont permettre la transformation phasaire est, en général, le regroupement d'imagos solitaires. En effet, comme les individus solitaires du Criquet pèlerin n'ont pas tendance à rechercher la compagnie de leurs congénères, le premier stade de la transformation phasaire résulte de conditions d'environnement particulières qui vont provoquer un rassemblement important d'imagos.

Le premier phénomène est donc une concentration d'imagos solitaires sur des surfaces réduites qui se produit en général sous l'action de systèmes de vents convergents. D'une manière générale, les criquets en vol ont une direction qui est déterminée essentiellement par celle du vent. Les imagos solitaires, volant de nuit, vont ainsi avoir tendance à s'accumuler au niveau des zones de convergence des vents. Ces zones jouent un rôle très important et en une nuit la densité de la population solitaire peut être multipliée par un facteur 100, voire 1 000. Le seuil de transformation phasaire peut ainsi se trouver brusquement dépassé. Il le sera d'autant plus facilement que cette étape de concentration aura été précédée par une phase de multiplication, à la faveur de conditions écologiques favorables, ayant permis d'accroître sensiblement le niveau des populations sans pour autant atteindre le seuil de transformation phasaire.

Ce phénomène de concentration des solitaires par les systèmes de vents paraît indispensable. Il semble que les populations solitaires ne soient pas capables de se multiplier au rythme nécessaire pour provoquer rapidement des augmentations importantes de densité pouvant conduire au processus de grégarisation. L'afflux soudain de populations importantes permettrait non seulement d'atteindre d'emblée le seuil de transformation phasaire, mais également de «diluer» les agents biologiques de mortalité au point de permettre ensuite des taux de multiplication beaucoup plus élevés.

Cette concentration de populations solitaires a deux conséquences importantes, l'une immédiate (un choc psycho-physiologique modifiant le comportement), l'autre différée (une pré-adaptation de la descendance à vivre en groupe).

Par ailleurs, les zones de convergence des vents sont également des zones à plus forte probabilité de pluie (rappelons que la convergence des vents, et les mouvements d'air ascendants qui en résultent, sont nécessaires – mais non suffisants – pour produire la pluie). Ce système de déplacement avec les vents dominants est ainsi celui qui permet le

mieux au Criquet pèlerin de localiser et d'exploiter les pluies et la végétation saisonnière très éphémère des zones arides et semi-arides où il vit à l'état solitaire.

D'autres facteurs peuvent intervenir pour concentrer les populations solitaires, en particulier les phénomènes de restriction de surfaces habitables par dessiccation progressive des biotopes qui provoquent une augmentation de densité en obligeant les criquets à se rassembler sur des zones favorables de plus en plus réduites. Certains biotopes sont très propices à ce genre de phénomène et constituent des foyers grégarigènes actifs lorsqu'ils sont assez étendus.

Si les criquets solitaires rassemblés dans les circonstances exposées précédemment rencontrent des conditions éco-météorologiques favorables, ils vont effectuer rapidement leur maturation sexuelle et pondre. La concentration des pontes sera forte et les éclosions simultanées. Les nouvelles larves, issues de parents solitaires mais groupés, seront pré-adaptées à vivre en groupe et auront déjà certaines caractéristiques de la phase grégaire (ou, au moins, de la phase *transiens*). De plus, si le développement embryonnaire s'est déroulé dans de bonnes conditions, on obtiendra une population de forte densité et le caractère grégaire de ces larves se trouvera renforcé. Il va ainsi se former des rassemblements durables de larves, d'abord non organisés - les taches larvaires - puis organisés - les bandes larvaires. Ces bandes vont évoluer et les individus effectuer leur développement jusqu'à la mue imaginale.

Si de nombreuses taches larvaires apparaissent sur une même zone, elles vont pouvoir se rassembler pour former des bandes larvaires plus vastes. La densité de la population va augmenter et sa grégarité s'accroître. Au contraire, dans le cas d'une tache larvaire isolée, le caractère grégaire de la population étant encore mal fixé, il y a une assez forte probabilité pour que la population se disperse et retrouve progressivement, au cours de son développement, des caractéristiques solitaires. Il en ira de même pour une grande bande larvaire en cas de baisse importante de densité faisant suite à une forte mortalité naturelle ou à un effet dispersif de l'environnement.

L'essaïm se forme à partir d'une bande larvaire dont les individus viennent d'effectuer leur mue imaginale. Lorsqu'il s'agit d'un premier essaïm d'individus *transiens congregans* nés de parents solitaires, on parle d'essaïm primitif. Si les parents étaient déjà grégaires, on parle d'essaïm secondaire.

Plusieurs essaïms primitifs voisins peuvent s'agglutiner pour n'en former qu'un seul et renforcer ainsi leur cohésion. Inversement, il peut arriver que l'essaïm se fragmente et perde sa cohésion, soit parce que la grégarité des ailes est trop faible, soit parce que les effectifs deviennent trop réduits (mortalité naturelle). Il se forme alors des *transiens degregans*.

Les invasions généralisées

Lorsqu'il y a de nombreuses bandes larvaires et de nombreux essaïms sur de vastes territoires, on parle de période d'invasion. Les dégâts aux cultures peuvent alors être considérables. Entre deux périodes d'invasion on parle de période de rémission. Il y a alors très peu d'essaïms ou de bandes larvaires, voire aucune population grégaire. Les dégâts sur les cultures sont dans ce cas très minimes.

Le graphique ci-dessous (fig. 1) montre les variations du nombre de pays envahis par des essaïms de Criquet pèlerin depuis 1860. On distingue ainsi nettement l'alternance des

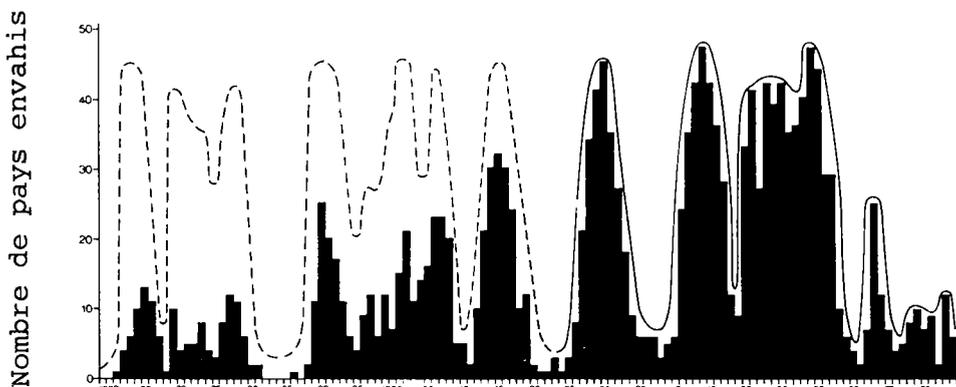


Figure 1. Historique des périodes d'invasion et de rémission chez le Criquet pèlerin (d'après Waloff, 1976 et [3]).

...courbe reconstituée pour tenir compte du manque de signalisations dans les époques anciennes.

périodes d'invasion et de rémission. On peut également constater qu'il n'y a pas de cycle régulier d'invasion et de rémission.

En phase solitaire, *S. gregaria* occupe une aire vaste mais limitée aux régions les plus désertiques d'un territoire allant de l'Atlantique à l'Inde. Il s'agit de régions où la pluviométrie moyenne annuelle est en général inférieure à 100 mm. Cette aire, dite aire de rémission, couvre environ 16 millions de kilomètres carrés et s'étend sur tout ou partie d'une trentaine de pays.

En période d'invasion, les populations grégaires peuvent envahir une aire, dite aire d'invasion, couvrant environ 29 millions de kilomètres carrés, soit à peu près 20% des terres émergées. Cinquante sept pays sont alors concernés (fig. 2).

Les aires grégarigènes

Le processus de grégarisation tel qu'il a été décrit dans les paragraphes précédents, a plus de chances de se réaliser dans certaines zones géographiques bien précises: les aires grégarigènes (fig. 3).

Une aire grégarigène est une région ou un ensemble de régions entre lesquelles se font des échanges réguliers de populations, aboutissant certaines années à des grégarisations importantes pouvant donner naissance à une invasion généralisée. Au sein de l'aire grégarigène, les lieux où s'accomplit effectivement la grégarisation (où prennent naissance les bandes larvaires et les essaims primitifs) s'appellent les foyers de grégarisation.

Dans le cas du Criquet pèlerin, on trouve plusieurs aires grégarigènes, les principales étant:

- la frontière indo-pakistanaise (où les systèmes de vents favorisent des concentrations importants);
- les bords de la Mer Rouge et du Golfe d'Aden (où le régime des pluies peut fournir des conditions favorables à la reproduction tout au long de l'année);

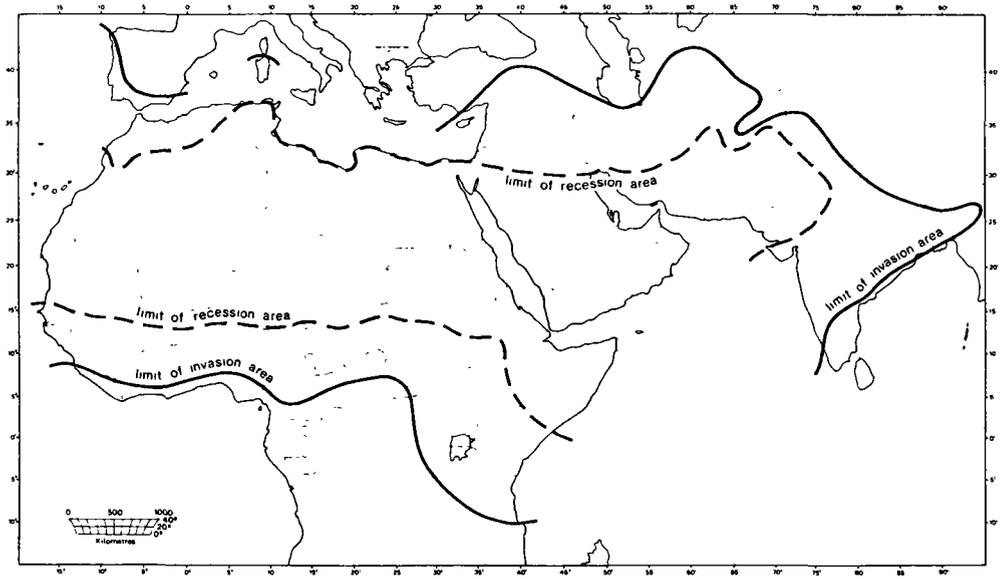


Figure 2. Les limites des aires d'invasion et de rémission du Criquet pèlerin (d'après Waloff, 1976 et [3]).

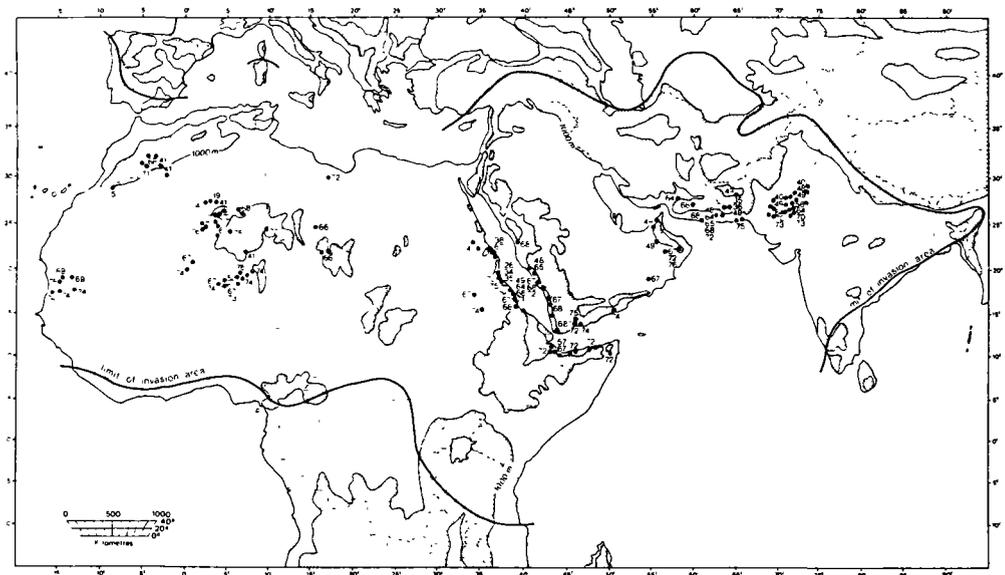


Figure 3. Sites de grégarisation du Criquet pèlerin entre 1926 et 1976 (d'après WALOFF, 1972 et [3]).

- la bordure de certains massifs montagneux (où les phénomènes d'écoulements d'eau favorisent la création de sites favorables): massifs du Sahara central et méridional, bordure sud de l'Atlas, bordure ouest des montagnes de l'Oman, vallées du Mekran au Pakistan et en Iran.

C'est essentiellement dans ces zones qu'ont lieu les premières étapes de la transformation phasaire conduisant à une invasion généralisée.

Ces notions d'aires grégarigènes et de foyers de grégarisation ont beaucoup aidé à l'organisation de la surveillance et de la lutte. C'est grâce à elles qu'il a été possible de mettre au point une stratégie de lutte préventive.

Les conditions de déclenchement et d'arrêt des invasions

Des grégarisations sur de petites surfaces sont fréquemment enregistrées dans l'aire d'habitat du Criquet pèlerin. Des grégarisations sur de grandes surfaces, avec production de nombreuses bandes larvaires et d'essaims, sont moins fréquentes. Ce n'est que lorsque la grégarisation a lieu sur de vastes superficies et se maintient pendant plusieurs générations successives qu'elle peut conduire à une invasion généralisée.

On sait maintenant que le principal facteur favorable à la naissance d'une invasion généralisée est une succession de pluies abondantes concernant des surfaces très étendues (d'où l'importance de données pluviométriques de qualité et des satellites météorologiques pour donner l'alerte).

Une fois l'invasion amorcée dans l'une des régions de l'aire d'habitat du Criquet pèlerin, elle se propage en général en l'espace d'un an ou deux aux autres régions.

L'invasion, une fois déclenchée, est alors très difficile à arrêter. En effet, lorsque le fléau acridien n'a pu être enrayeré à son début, il prend une dimension différente pour trois raisons essentielles:

- les formes grégaires sont plus résistantes que les formes solitaires aux conditions environnementales défavorables; elles sont donc capables d'occuper des aires géographiques considérablement plus vastes et maintiennent plus facilement leurs effectifs;

- la grégarisation s'entretient plus facilement d'elle-même qu'elle ne s'arrête; en d'autres termes, le maintien de l'état grégaire suppose des conditions d'environnement plus banales que le passage de la phase solitaire à la phase grégaire; l'invasion s'auto-entretient;

- l'arrêt de l'invasion exige des conditions éco-météorologiques aussi exceptionnelles (mais différentes) que son déclenchement .

Après un certain temps et pour des raisons encore assez obscures, l'invasion décline et s'arrête. On repasse en période de rémission. L'invasion peut d'abord s'arrêter dans une seule région et continuer encore quelques temps dans les autres. L'arrêt total de l'invasion nécessite en moyenne environ deux années.

L'arrêt de l'invasion est en général dû à une succession de conditions écologiques défavorables: froid, sécheresse (absence ou forte baisse des pluies saisonnières permettant la reproduction), migration des essaims dans des zones défavorables où ils sont décimés, renforcement des effets des ennemis naturels.

Le cycle biologique

Le cycle biologique du Criquet pèlerin comprend, comme chez les autres espèces de criquets, trois états successifs : oeuf, larve et imago (Tableau I). L'oeuf se développe en

Tableau I. Durées, en jours, des principales étapes du cycle biologique du Criquet pèlerin en fonction de la phase et des conditions écologiques.

O, oeuf; L, larve; D, durcissement cuticulaire chez l'imago; PV, phase de pré-vitellogénèse; V, vitellogénèse; r, rythme de ponte; lg, longévité de l'imago; G, durée d'une génération (d'après Popov, c.p. et [1]).

Etat phasaire et conditions écologiques	Etapas du cycle							
	O	L	D	PV	V	r	lg	G
Solitaires								
Bonnes conditions	12	30	6	4	6	6	34	58
Mauvaises conditions	65	90	10	135	10	25	180	310
Grégaires								
Bonnes conditions	10	25	6	3	6	6	34	50
Mauvaises conditions	80	52	10	180	10	30	230	332

continu, sans arrêt de type diapause; la durée minimale du développement embryonnaire étant d'une dizaine de jours dans de bonnes conditions. Le nombre de stades larvaires est de 5 ou 6 selon la phase, le développement larvaire durant 25 jours au minimum. Chez l'imago le délai de ponte est au minimum d'une quinzaine de jours. Généralement, les femelles de criquet pèlerin pondent peu de fois dans la nature. Trois à quatre pontes chez les solitaires, deux à trois seulement chez les grégaires.

La durée de vie totale d'une génération, de l'oeuf à l'oeuf, est de l'ordre d'une cinquantaine de jours. Mais, en cas de conditions défavorables, cette durée peut atteindre une dizaine de mois, soit par ralentissement du développement sous l'influence de basses températures, soit par arrêt de la reproduction et installation d'une période de quiescence.

La stratégie adaptative du Criquet pèlerin

Le Criquet pèlerin n'est entièrement résistant à la sécheresse à aucun de ses stades de développement et n'a pas de mécanisme, comme une diapause des oeufs, pour se protéger contre une dessiccation extrême. Au contraire, quand les femelles pondent, de l'eau doit être disponible dans le sol en quantité suffisante pour assurer à la fois le développement des oeufs et la croissance de la végétation dont se nourriront les larves et les jeunes imagos issus de ces pontes.

Le Criquet pèlerin ne peut donc survivre dans un environnement aride qu'en se déplaçant d'une zone où il a plu vers une autre zone devenant temporairement favorable, zone pouvant être située à plusieurs centaines, voire à plusieurs milliers de kilomètres de distance de la précédente.

La pluie est ainsi le facteur le plus important car elle crée, directement ou indirectement, un milieu favorable pour toutes les étapes de la reproduction : maturation sexuelle, ponte, développement embryonnaire et développement larvaire. Une pluie de 20-25 mm est normalement suffisante.

Les seuls atouts contre l'aridité dont dispose le Criquet pèlerin se limitent donc à :

- une possibilité de quiescence imaginale;

- une prédisposition aux déplacements à longue distance qui lui permettent d'atteindre des biotopes favorables à la reproduction.

Les aires saisonnières de reproduction

Sur la plus grande partie de l'aire d'habitat du Criquet pèlerin il y a généralement une saison des pluies par an, relativement courte le plus souvent, si bien que la plupart du temps la reproduction ne peut avoir lieu que quelques mois pendant l'année. Par ailleurs, les pluies ne se produisent pas toutes aux mêmes saisons dans les différentes parties de l'aire d'habitat. Il en résulte l'existence d'aires de reproduction saisonnières et de déplacements importants de populations entre ces différentes zones écologiquement complémentaires pour l'acridien (fig. 4). Ces zones sont sensiblement différentes selon qu'il s'agit de gré-gaires (période d'invasion) ou de solitaires (période de rémission).

Certaines années, fastes pour le Criquet pèlerin, la saison des pluies se prolonge ou la pluviosité est très abondante, rendant possible deux générations successives sur des sites très proches, limitant d'autant les pertes d'effectifs liées aux déplacements à grande distance.

La stratégie de lutte préventive des années 1960 à 80

Principes

L'existence d'aires grégarigènes et la succession de périodes d'invasion et de rémission permet d'envisager une lutte préventive dont le but est de prévenir tout départ d'invasion, puisque l'on sait qu'une fois l'invasion déclenchée celle-ci est très difficile à arrêter, même avec des opérations intensives de lutte curative, et qu'alors les risques secondaires des traitements acridicides pour l'environnement sont considérables compte tenu des surfaces concernées.

La stratégie de lutte préventive contre le Criquet pèlerin comporte trois étapes essentielles:

- la surveillance des conditions écologiques dans les aires potentielles de reproduction et de grégarisation (données météorologiques, imagerie satellitaire);
- l'organisation de prospections, aériennes et terrestres, dans les aires devenues potentiellement favorables à la suite de précipitations abondantes;
- la lutte contre toutes les populations de Criquet pèlerin dépassant un certain seuil (Tableau II).

La validité de cette stratégie ne fait pas de doute. Malgré quelques difficultés pratiques, elle a permis de prévenir convenablement des départs d'invasion pendant toute la période de rémission allant de 1962 à 1987. Le départ d'invasion survenu en 1987 résulte non pas d'un défaut de la stratégie mais de l'impossibilité de l'appliquer correctement pour diverses raisons (interdiction d'accéder et de traiter efficacement les zones de pullulations situées dans des régions de conflits armés, affaiblissement des organisations de surveillance et de lutte préventive au sud du Sahara qui n'étaient plus opérationnelles au moment opportun, pressions exercées par certains pays donateurs pour interdire l'utilisation de la dieldrine...).

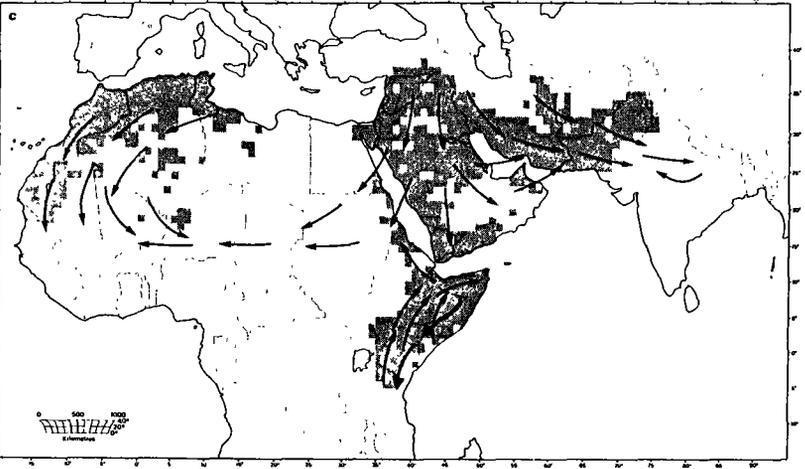
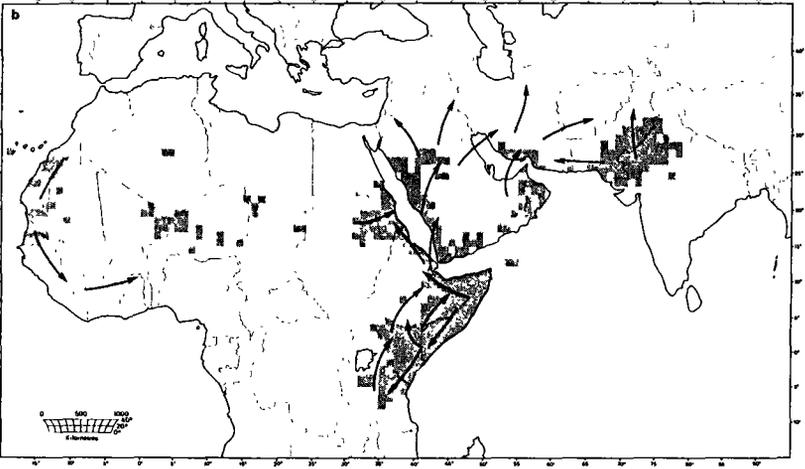
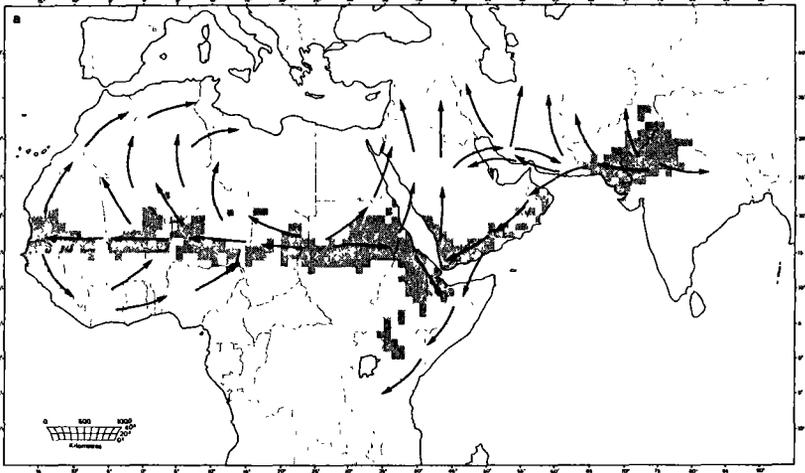


Tableau II. Indications concernant les populations de Criquet pèlerin qui doivent être combattues en période de rémission (d'après FAO in [1]).
C, combattre; O, tenir sous surveillance; X, ignorer.

	Type de population							
	Grégaires		Transiens et solitaires					
	Grande taille	Petite taille	Forte densité		Densité moyenne		Faible densité	
Grande taille			Petite taille	Grande taille	Petite taille	Grande taille	Petite taille	
Près des cultures	C	C	C	C	C	X	O	X
Loin des cultures	C	C	C	O	O	X	O	X
Zones reculées	C	C	C(O)	X	O	X	X	X
Densités	Larves L1 à L3		Larves L4 et L5		Imagos			
Forte densité	10-100/m ²		1-10/m ²		1 000-10 000/ha			
Densité moyenne	2,5-10/m ²		0,25-1/m ²		250-1 000/ha			
Faible densité	< 2,5/m ²		< 0,25/m ²		< 250/ha			

Grande taille: > 50 hectares; Petite taille: < 50 hectares.

Organisation à l'échelon international

Le Criquet pèlerin étant un insecte extrêmement mobile ne connaissant pas les frontières, la lutte doit être organisée à la fois sur le plan national et sur le plan international.

Au plan national, selon les pays, ce sont les services de protection des végétaux ou des services anti-acridiens spécialisés qui ont en charge la lutte contre les criquets. Dans d'autres cas, les pays ont délégué à des organisations régionales la responsabilité des opérations de surveillance et de lutte. C'est le cas, en particulier, pour de nombreux pays au sud du Sahara.

Au plan international, l'organisation de la lutte contre le Criquet pèlerin constitue un exemple remarquable de coopération (fig. 5). Cinq organisations régionales, créées au cours des années 1960, desservent ensemble presque tous les pays infestés par le Criquet pèlerin:

- la Commission FAO de lutte contre le Criquet pèlerin au Proche-Orient,
- la Commission FAO de lutte contre le Criquet pèlerin dans la partie orientale de son aire de répartition en Asie du Sud-Ouest,
- la Commission FAO de lutte contre le Criquet pèlerin dans le Nord-Ouest de l'Afrique,
- le DLCO-EA, Organisation de lutte contre le Criquet pèlerin dans l'Est Africain,
- l'OCLALAV, Organisation commune de lutte anti-acridienne et de lutte anti-aviaire pour les pays d'Afrique de l'Ouest au sud du Sahara.

Les Commissions FAO ont essentiellement un rôle de coordination, la responsabilité des opérations restant au niveau de chaque état. Le DLCO-EA, par contre, a en charge les opérations de surveillance et de lutte. Quant à l'OCLALAV, cette organisation est actuelle-

Figure 4. Zones saisonnières de reproduction et déplacements des essaims du Criquet pèlerin [3].

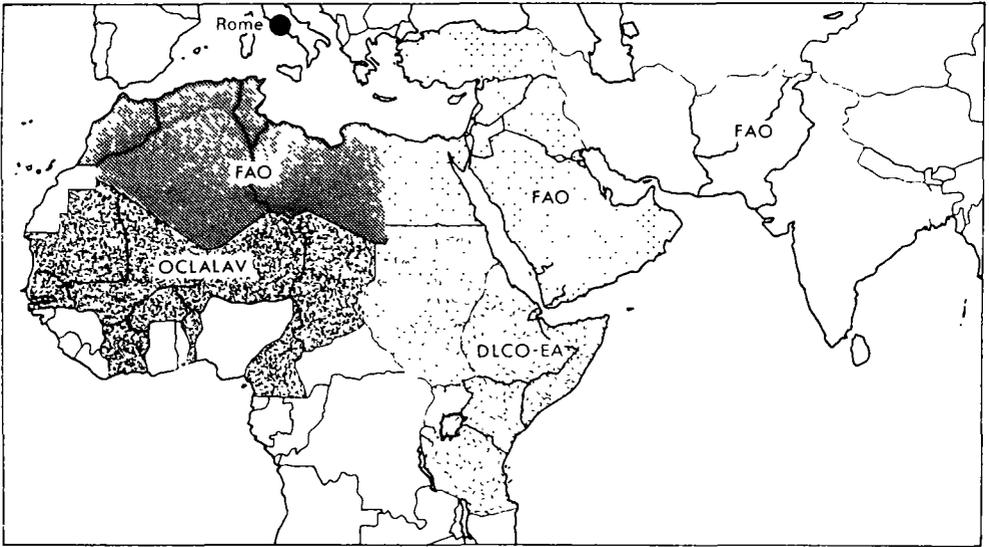


Figure 5. Pays participants à l'organisation de la lutte contre le Criquet pèlerin.

ment en pleine mutation et les états sud-sahariens d'Afrique de l'Ouest ont repris, chacun, la responsabilité des opérations de lutte sur leurs territoires respectifs. L'OCLALAV conserverait un rôle de coordination et d'information, un peu à l'égal des commissions régionales FAO.

La FAO (Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture) joue un rôle de coordination à l'échelle internationale. Elle apporte son aide pour les opérations de lutte d'urgence, collecte les informations sur la situation acridienne, diffuse des bulletins de prévision et d'avertissement.

Le principe des prévisions repose actuellement sur la connaissance:

- de l'écologie et du comportement du Criquet pèlerin,
- de la situation acridienne (rapports des prospections de terrain),
- des zones écologiquement favorables (données météorologiques et satellitaires).

Les renseignements transmis par les services de protection des végétaux de plus de 40 pays ainsi que par les deux organisations régionales (DLCO-EA et OCLALAV) et les trois commissions régionales FAO sont regroupés et analysés par un service spécialisé au siège de la FAO à Rome. La confrontation des données de terrain, des renseignements météorologiques et des données fournies par les satellites artificiels, permet d'établir le Bulletin FAO "Criquet pèlerin" comportant l'état de la situation, des prévisions et des avertissements pour les semaines suivantes. Ce bulletin est largement diffusé à tous les organismes concernés par la lutte contre le Criquet pèlerin par télécopie ou par télex. Il comporte en plus une carte de situation acridienne où toutes les données reçues sont regroupées sous une forme symbolique par degré carré. Cette carte permet d'avoir une vue générale de la situation acridienne au cours des semaines précédentes sur l'ensemble de l'aire d'habitat du Criquet pèlerin.

L'invasion de 1987-1989 et ses enseignements

Le déroulement de l'invasion

On a assisté en 1987/88 à un départ d'invasion généralisée de *Schistocerca gregaria*, après 25 années de rémission.

L'invasion s'est développée rapidement.

En effet, en 1984, il était rare de rencontrer des Criquets pèlerins sur l'ensemble de l'aire d'habitat. Il semble que le niveau des populations ait été le plus bas jamais enregistré.

Et pourtant, en l'espace de deux ou trois ans, partant de cette situation, on allait aboutir à une nouvelle invasion qui allait gagner une grande partie de l'Afrique au nord de l'équateur. Les figures 6 et 7 permettent de reconstituer les événements depuis 1985.

En 1985, on note quelques pullulations locales en Mauritanie, au Niger, autour de la Mer Rouge à la suite de pluies abondantes succédant à une période de sécheresse.

En 1986, le phénomène prend de l'importance surtout autour de la Mer Rouge. Des essaims se forment qui rejoignent des pullulations de Criquet pèlerin en Afrique de l'Ouest au sud du Sahara. Quelques incursions d'ailés se produisent en Afrique du Nord.

En 1987, de nouveau, les zones grégariques des abords de la Mer Rouge fonctionnent. Des essaims se forment. Leur déplacement est, cette fois, manifeste. Ils vont, en migrant vers l'ouest, coloniser toute la zone sahéenne au sud du Sahara. Ils s'y reproduisent et leur descendance migre en masse vers le Maghreb à l'automne. C'est la première fois depuis 1960 que l'on assiste à une invasion massive de l'Afrique du Nord.

L'année 1988 correspond, pour les zones occidentale et centrale de l'aire d'habitat du Criquet pèlerin, à une année typique d'invasion. Les essaims colonisent d'abord l'ensemble du Maghreb où a lieu une importante reproduction printanière. Les températures ne sont pas trop basses et favorisent la dispersion massive des ailés. La pluviométrie est propice à la reproduction. La nouvelle génération ainsi formée effectue ensuite un retour en masse vers la zone sahéenne. Déplacement vers le sud qui a commencé très précocement puisque en mars et avril 1988 on observait déjà une importante recolonisation de la zone sahéenne au niveau de la Mauritanie et du Sénégal. Ce mouvement s'est accentué par la suite en mai et juin. Tous ces essaims de la reproduction printanière se sont reproduit au Sahel à partir du mois de juillet à la faveur des pluies de mousson.

Grâce à une bonne saison des pluies, deux générations de mousson ont pu se développer et à partir de septembre/octobre 1988 un mouvement de retour des essaims de la reproduction de mousson vers le Maghreb a commencé à se dessiner. A partir du mois de novembre le Maroc était largement envahi tandis que l'on continuait à observer des larves au niveau de la zone sahéenne à la faveur d'une fin de saison des pluies tardives. Les derniers essaims produits ne sont pas remontés vers le nord mais ont emprunté le "circuit sud", accompagnant le front inter-tropical dans son mouvement de replis vers le sud. Ce sont ces essaims que l'on a vu circuler pendant toute la saison sèche 1988-89 au Sahel.

En 1989, l'invasion est soudainement entrée dans une phase de régression. Les essaims ayant emprunté le circuit sud semblent s'être progressivement dispersés sous l'effet de la mortalité naturelle avant le retour des pluies. Et surtout, au Maghreb, les conditions de température évitent la dispersion des essaims qui restent bloqués à l'état immature au niveau du Maroc, rendant particulièrement efficaces les opérations de traitement.

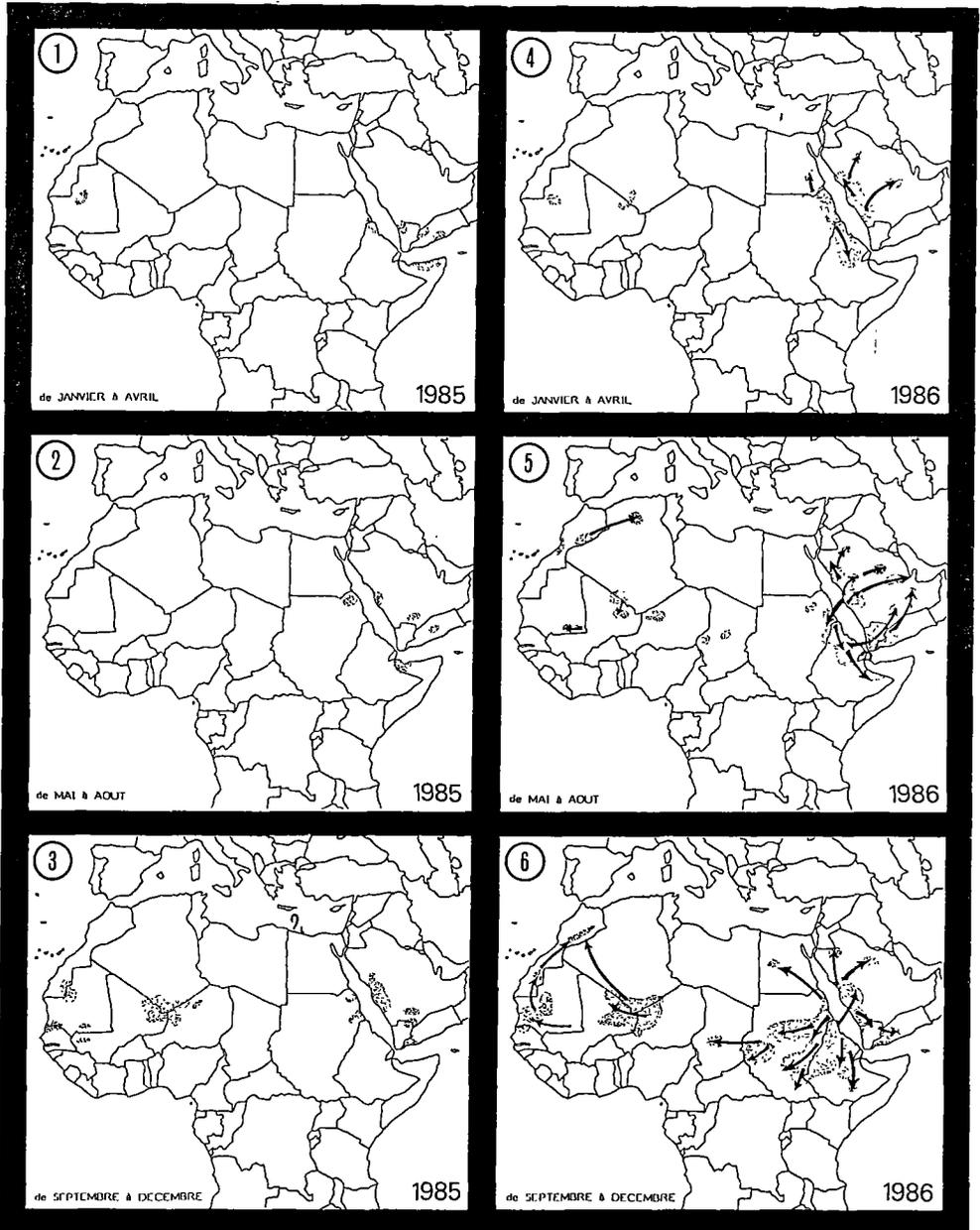


Figure 6. Déroulement de l'invasion de Criquet pèlerin en 1985 et en 1986 (source PRIFAS, 1989)
En gris : les zones de reproduction.
Flèches : sens de déplacement des essaims.

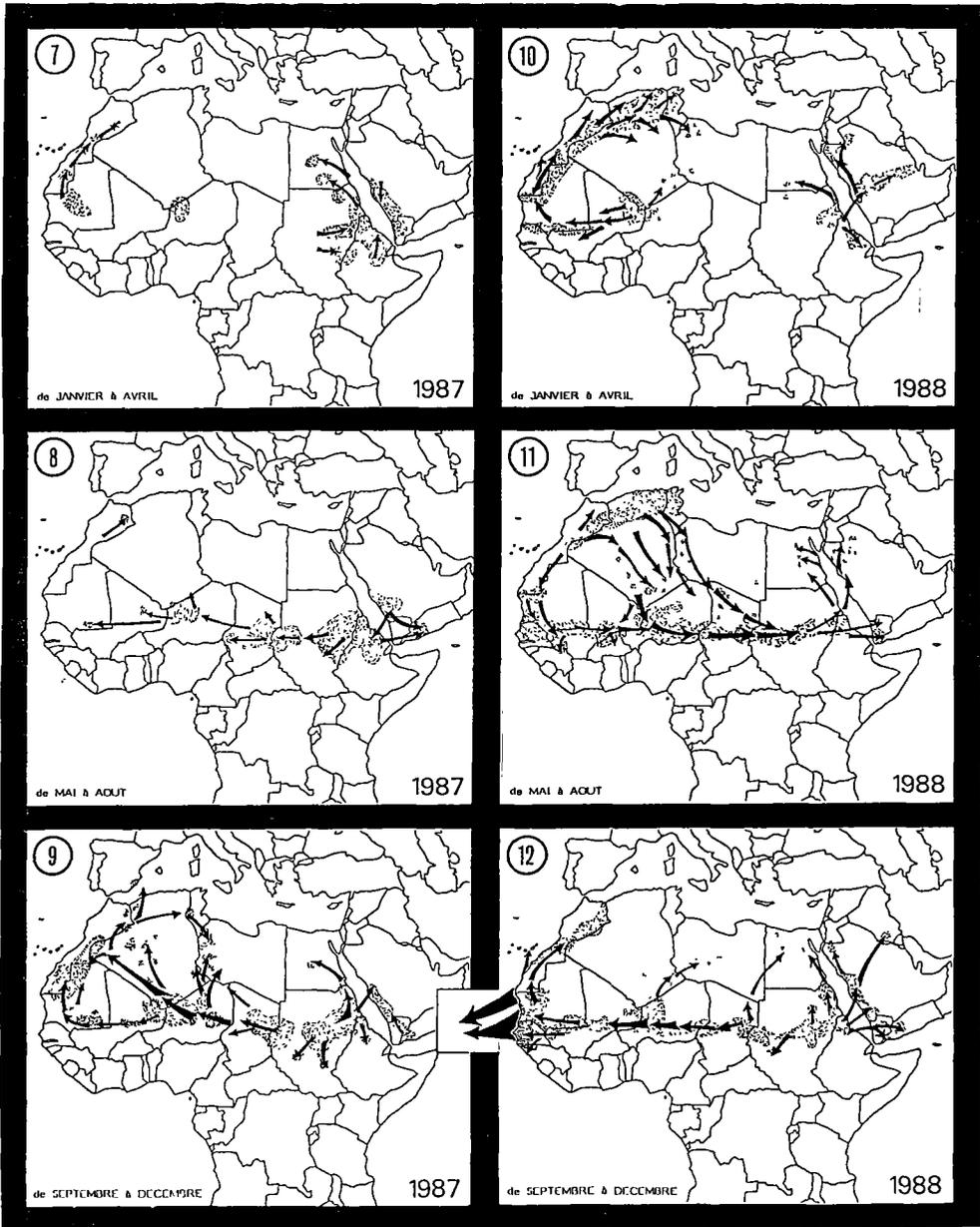


Figure 7. Déroulement de l'invasion de Criquet pèlerin en 1987 et 1988 (source PRIFAS, 1989).

Par ailleurs, il semble qu'à l'automne 1988 une grande partie des essaims formés au Sahel ait été entraînée et perdue en mer. Certains criquets ont atteint le continent américain et ont été signalés aux Antilles et en Guyane. La quantité de criquets ayant pu remonter vers le Maghreb s'en est trouvée diminuée d'autant.

L'invasion paraît donc avoir avorté sans avoir eu le temps de s'étendre à l'ensemble des territoires qui étaient potentiellement menacés et, en particulier, sans toucher véritablement la partie orientale de l'aire d'invasion.

Actuellement, dans le courant du deuxième semestre 1989, le Criquet pèlerin reste fort discret et ne fait plus la une de l'actualité, malgré des conditions écologiques propices au sud du Sahara au cours de la saison des pluies. Au Sahel les traitements sont surtout effectués contre les sauteriaux et en particulier contre le Criquet sénégalais, *Oedaleus senegalensis* (Krauss, 1877). Par ailleurs, il semble qu'un autre locuste menace de faire parler de lui : il s'agit du Criquet migrateur africain qui a pullulé de façon importante dans son aire grégarigène du bassin tchadien où plusieurs dizaines de milliers d'hectares ont été traités.

Les questions à se poser

Ce démarrage foudroyant d'invasion et sa rémission inattendue posent plusieurs interrogations :

Pouvait-on prévenir le déclenchement de l'invasion dès le début des grégarisations à grande échelle ?

Pouvait-on contrôler plus précocement l'expansion géographique du Criquet pèlerin ?

Quel rôle l'homme a-t-il joué dans la rémission du fléau ?

Quel est le rapport coût/performance des opérations de lutte chimique ?

N'a-t-on pas pris des risques de pollution par utilisation massive de pesticides ?

La lutte préventive

Concernant la prévention du déclenchement précoce des grégarisations à grande échelle, trois éléments défavorables sont venus conjuguer leurs effets et empêcher l'application des principes de la stratégie de lutte préventive :

- L'impossibilité d'accéder et de traiter efficacement dans les premières zones de pullulations situées dans des régions de guerre ou en zone d'insécurité (Ethiopie, Soudan, Tchad, Mauritanie, Sahara occidental).

- L'affaiblissement des organisations de surveillance et de lutte préventive au sud du Sahara. C'est en particulier le problème de l'OCLALAV qui n'était plus opérationnelle au moment opportun et qui se débattait dans des difficultés extraordinaires de financement, par désengagement des pays membres dont beaucoup se désintéressaient du problème et ne payaient plus, ou avec énormément de retard, leurs cotisations. La dissolution de l'organisation avait même été décrétée à la fin de l'année 1987.

- L'absence de réaction aux avertissements donnés par les experts depuis 1986. Les pays donateurs ont attendu que l'invasion soit devenue évidente pour se mobiliser.

La polémique sur la dieldrine

Ne pouvant appliquer correctement la stratégie de lutte préventive, il est vraisemblable que l'on aurait pu contrôler plus précocement le développement géographique de l'inva-

sion en utilisant la dieldrine, cet insecticide rémanent sur lequel reposait une bonne partie de la stratégie de lutte préventive, au moins au sud du Sahara et qui était utilisé depuis 30 ans sur le Criquet pèlerin.

Malheureusement certains pays donateurs ont fait pression sur les pays touchés par l'invasion pour les empêcher d'utiliser la dieldrine. Il semble que des traitements effectués à un stade relativement précoce du développement de l'invasion, en août-septembre 1987, alors que les essaims venant de l'est n'avaient pas encore franchi le Tchad, aurait pu venir à bout de ce départ d'invasion et ceci pour une somme relativement modique. Une opération "coup de poing" de l'ordre de 10 millions de dollars dans une zone clé pour le passage des essaims et leur propagation vers l'ouest, aurait sans doute permis d'arrêter l'invasion et d'économiser les 200 ou 300 millions de dollars qui ont été dépensés par la suite.

D'autres occasions de stopper l'invasion furent également ratées, en particulier en Mauritanie septentrionale entre novembre 1987 et février 1988. Comme au Tchad, les infestations étaient alors réduites à des régions localisées et l'on aurait vraisemblablement pu contenir le développement de l'invasion avec les moyens modernes disponibles et si la dieldrine avait été utilisée.

Quoi qu'il en soit, la polémique sur la dieldrine est actuellement close et de nouveaux produits, rémanents mais moins dangereux, apparaissent sur le marché et devraient permettre de lever l'impasse actuelle (inhibiteurs de croissance par exemple).

Le rôle de l'homme dans la rémission actuelle ?

On ne peut nier que les dizaines de millions de litres d'insecticides concentrés épandus aient eu une action importante sur la réduction des effectifs de criquets. Cependant, on peut se poser la question de savoir ce qu'il serait advenu en l'absence des importantes pertes en mer, des pertes par mortalité naturelle en cours de saison sèche pour toutes les populations sahéliennes ayant emprunté le circuit sud, et si les conditions météorologiques au Maghreb avaient été meilleures pour le criquet et permis à celui-ci de se disperser sur l'ensemble de l'Afrique du Nord. Il est vraisemblable que l'invasion n'aurait pas été stoppée aussi rapidement et il semble bien que ce soit l'ensemble de ces éléments - naturels et humains - qui ait contribué à l'arrêt du phénomène.

Si l'on se hasardait à avancer des chiffres, on serait tenté de mesurer l'action de l'homme à partir de 20%, le reste étant partagé entre les pertes en mer (30%), l'action des basses températures (30%) et la sécheresse de certains sites (20%).

Tout cela reste évidemment très hypothétique, mais l'on doit se souvenir que jusqu'à présent on n'avait pas d'exemple d'une invasion ayant été arrêtée uniquement grâce aux actions de l'homme. Au contraire, une fois déclenchée l'invasion a tendance à se maintenir d'elle-même, à s'auto-entretenir. Il faut des conditions exceptionnelles pour la déclencher, mais il faut également des conditions exceptionnelles pour l'arrêter. Jusqu'aux années 1950 aucune invasion ne s'est terminée sous l'effet des opérations de traitement. On faisait de la lutte palliative; on essayait de protéger ce qui pouvait l'être. Ce n'est qu'après la Seconde Guerre mondiale et tout particulièrement à la fin de l'invasion de 1949-1962 que le déclin du fléau peut être attribué à la lutte chimique - au moins en partie. Ce fut le cas:

- en 1962 au Pakistan, où l'application aérienne de dieldrine a mis efficacement fin à la précédente invasion généralisée;
- en 1978, en éliminant à son début une nouvelle invasion de l'Afrique de l'Est, de l'Arabie, du Pakistan et de l'Inde;

- en 1983, de nouveau au Pakistan, où une campagne aérienne de grande envergure a détruit une recrudescence saisonnière majeure.

Une invasion arrivée à un stade aussi avancé que l'invasion actuelle est beaucoup plus difficile à réduire et il n'est pas sûr que l'on aurait pu y parvenir sans le concours de circonstances naturelles défavorables au criquet.

Le rapport coût/performance

Il semble avoir été globalement très modeste. Problèmes de choix des matières actives, des formulations, des matériels d'épandage, de respect des conditions de traitement, de vérification de leur efficacité, de formation du personnel... que nous ne développerons pas plus ici.

Les risques

Enfin, des risques considérables pour la faune non cible ont été pris du fait de ces épandages massifs d'insecticides. On peut se demander - très schématiquement - si un peu de dieldrine dans des zones bien ciblées et à un stade précoce du développement de l'invasion n'aurait pas mieux valu que des quantités massives d'insecticides, moins toxiques certes, mais épandues sur des superficies considérables.

Les leçons à tirer

Quelles leçons tirer de ce dernier départ d'invasion ?

La réorganisation du dispositif de lutte préventive

Tout d'abord, la stratégie générale de lutte préventive contre le Criquet pèlerin est globalement bonne. C'est son application pratique sur le terrain qui s'est révélée défectueuse.

Même si l'on tient compte du fait que les premières zones de pullulation étaient difficiles d'accès voire inaccessibles à cause des problèmes de sécurité, il est vraisemblable que si les organisations chargées de surveiller le Criquet pèlerin étaient restées opérationnelles, l'invasion aurait pu être stoppée à un stade précoce.

L'une des premières mesures concrètes à envisager est donc le renforcement du dispositif actuel de lutte préventive.

La lutte préventive contre le Criquet pèlerin exige un dispositif sans faille, exerçant une surveillance soutenue sur l'ensemble des aires critiques.

Si le dispositif existant au Maghreb est à compléter, celui du Sahel est à reconstituer presque entièrement.

Ce renforcement du dispositif de lutte préventive fait actuellement l'objet d'une instruction détaillée par le FIDA et la FAO. Il s'agit en particulier :

- de renforcer le réseau d'observations météorologiques, le réseau actuel étant nettement insuffisant;
- de réorganiser le dispositif actuel de bases de terrain, d'en créer de nouvelles et de mettre finalement en place un dispositif beaucoup mieux ciblé sur les zones à surveiller (fig. 8);
- de financer une large gamme de modules de formation destinés aux différentes catégories de personnels.

Pour les 8 pays de l'aire occidentale du Criquet pèlerin (4 du Maghreb et 4 du Sahel), on prévoit une dépense de 32 millions de dollars sur cinq ans et un coût récurrent de l'ordre de 3,5 millions de dollars par an en régime de croisière.

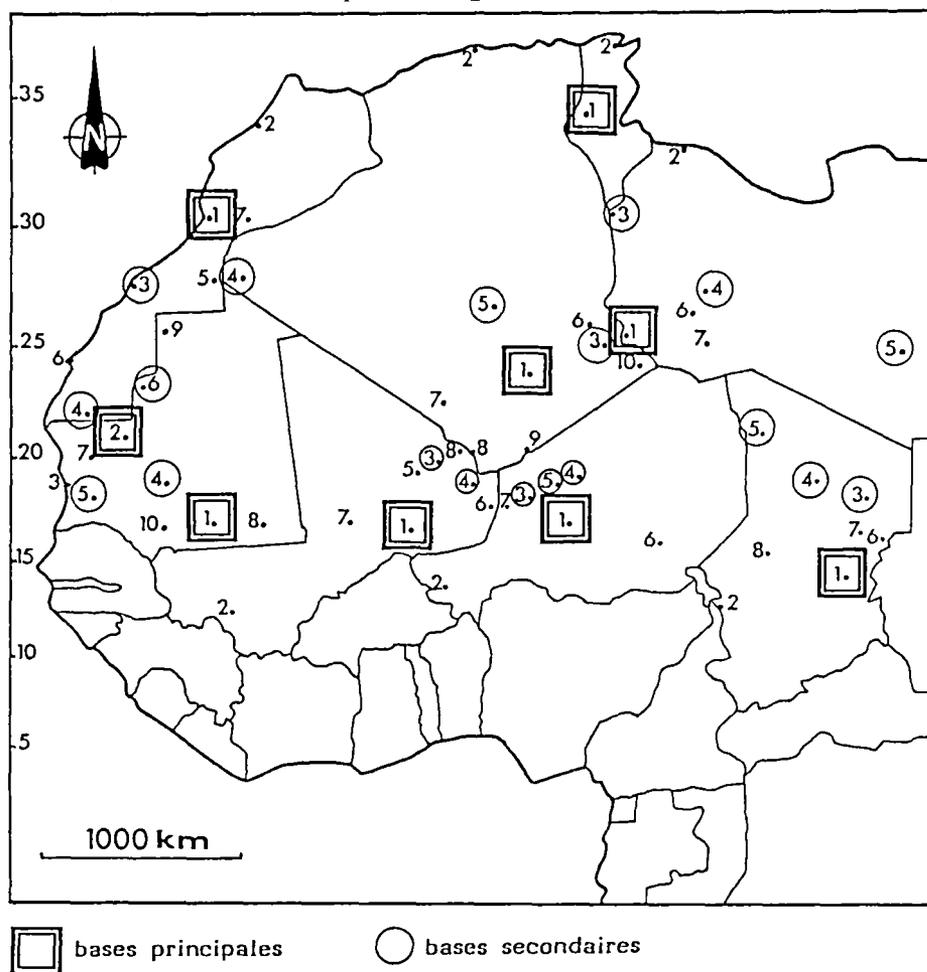


Figure 8. Proposition du PRIFAS pour l'implantation des bases principales et secondaires dans le cadre d'un dispositif renforcé de lutte préventive contre le Criquet pèlerin. [4, 8].

Tchad: 1 Abeche; 2 N'Djamena; 3 Fada; 4 Faya Largeau; 5 Zouar; 6 Iriba; 7 Kalait; 8 Salal.

Mali: 1 Gao; 2 Bamako; 3 Aguelhoc; 4 Tin Essako; 5 Timetrine; 6 Anoumelen; 7 Tombouctou; 8 Bouressa.

Maroc: 1 Ait Melloul; 2 Rabat; 3 Laayoun; 4 Techle; 5 Mohbes; 6 Dakhla; 7 Tata.

Tunisie: 1 Gafsa; 2 Tunis.

Niger: 1 Agadez; 2 Niamey; 3 In-Abangharit; 4 Iferouane; 5 Arlit; 6 Termit; 7 Alaoua.

Mauritanie: 1 Aioun; 2 Atar; 3 Nouakchott; 4 Tidjikja; 5 Boutilimit ; 6 Zouerate; 7 Akjoujt; 8 Nema; 9 Bir Moghreïn; 10 Kiffa.

Algérie: 1 Tamanrasset; 2 Alger; 3 Djanet; 4 Tindouf; 5 Arak; 6 Edarene; 7 Bidon V; 8 Tin Zaouaten; 9 In Guezzan; 10 In Ezzane.

Libye: 1 Ghat; 2 Tripoli; 3 Ghadames; 4 Sabha; 5 Kufra; 6 Murzuq; 7 Alkatum.

Ces coûts sont bien sûr à comparer aux 200 ou 300 millions de dollars dépensés pendant deux ans pour lutter contre l'invasion.

Il est probable, qu'en dehors de toute action de recherche, ces dispositions, qui sont simplement techniques et qui consistent en une réorganisation du dispositif actuel, devraient permettre d'assurer largement la prévention des invasions.

Cependant, un certain nombre d'axes de recherche peuvent être dégagés pour accroître l'efficacité de ce dispositif et en alléger le coût.

Les recherches d'accompagnement

Les recherches de terrain sur le Criquet pèlerin restent très limitées depuis une vingtaine d'années. Un des problèmes majeurs provient de l'éloignement des régions à étudier et de la nature transitoire des infestations. La récente invasion a cependant relancé l'intérêt pour ce sujet.

Les lignes de recherche prioritaires ont été étudiées en particulier lors de réunions organisées par la FAO à Rome en octobre 1988 et mai 1989, par le PNUD en 1988 à Tucson (USA) et au Caire (Egypte), par l'ICRPE à Nairobi (décembre 1988), par le SPAAR à Paris (janvier 1989) et à Montpellier (mars 1989).

Quelques thèmes de recherches font l'objet d'un consensus. On peut en citer quelques uns :

- Etude de la biologie et de l'écologie du Criquet pèlerin en phase solitaire, sur le terrain, et en particulier étude des rapports entre la météorologie et le comportement du Criquet pèlerin. Les données sont nombreuses en ce qui concerne la phase grégaire; elles sont fort minces pour la phase solitaire. Dynamique des populations, facteurs de mortalité, déterminisme et modalités des déplacements à grande distance... autant de sujets possibles.

- Utilisation des données satellitaires pour la surveillance des conditions écologiques dans les régions grégarigènes et le dépistage précoce des zones potentielles de reproduction où des équipes de prospection au sol devraient être envoyées pour vérifier la situation. Le PRIFAS dispose actuellement à Niamey de deux experts conduisant un projet en ce sens, auprès du centre AGRHYMET, pour étudier les possibilités d'utiliser les données du satellite NOAA pour la surveillance de l'environnement du Criquet pèlerin.

- Cartographie et caractérisation des principaux habitats du Criquet pèlerin.

- Développement de méthodes de lutte alternatives. Recherche de nouveaux acaricides permettant de remplacer la dieldrine, en particulier dans la technique des traitements en barrières contre les bandes larvaires. De nouveaux produits paraissent prometteurs comme les inhibiteurs de croissance. Certains se sont révélés très efficaces contre les larves du Criquet pèlerin. Leur rémanence sur le terrain reste à vérifier.

- Utilisation de la biomodélisation. Un projet PRIFAS, financé par la CCE et le FAC, vise en la mise au point dès juillet 1990 d'un modèle spécifique quantitatif permettant de repérer tous les dix jours les zones à haut risque de pullulations sur l'ensemble de l'aire d'habitat.

Perspectives offertes par la biomodélisation

Nous avons vu que l'une des premières mesures à prendre pour la prévention des invasions consiste à réorganiser le dispositif de lutte préventive, à le recentrer sur les zones

dangereuses et à augmenter le nombre et l'efficacité des prospections de terrain. Ce travail de terrain doit demeurer à la base de toute stratégie de lutte préventive.

Cependant, pour des raisons diverses, la surveillance du Criquet pèlerin reste très insuffisante en toutes circonstances. Certains régions sont naturellement difficiles d'accès, d'autres sont interdites pour raisons militaires... Même en période d'invasion où le maximum de personnel est mobilisé il n'est pas rare de découvrir des bandes larvaires plus de trois semaines après qu'elles se soient formées ou de recevoir des essaims dont on ne connaît pas avec certitude le lieu d'origine.

L'une des réponses possibles pour améliorer la qualité de cette surveillance du Criquet pèlerin est d'accroître notre connaissance en temps réel de la dynamique de l'environnement. C'est l'un des thèmes de recherche qui a été évoqué plus haut.

Une autre approche, pour résoudre ce problème posé par la difficulté de surveiller efficacement les populations du Criquet pèlerin en phase solitaire consiste à utiliser les techniques de simulation et de modélisation et à créer un biomodèle spécifique au Criquet pèlerin.

Nous verrons successivement ce qu'est un biomodèle, quels sont les principaux biomodèles acridiens existants et comment l'on peut concevoir un biomodèle dans le cas du Criquet pèlerin.

Nature des biomodèles

Un biomodèle part d'une connaissance approfondie des rapports de l'acridien avec tous les types d'environnements qu'il peut rencontrer dans son aire d'habitat.

L'environnement peut bien sûr prendre de nombreuses formes d'expression. Il est décrit en tenant compte des facteurs clés pour l'acridien et l'on essaie de faire en sorte que ces facteurs clés soient exprimés sous une forme telle qu'ils puissent être facilement accessibles et mesurables en de très nombreux points de l'aire d'habitat de l'espèce.

Ces différents facteurs clés peuvent se combiner entre eux pour donner naissance à des types d'environnements. A l'intérieur de l'aire d'habitat de l'espèce seul un nombre limité de types d'environnement pourra être rencontré.

Face à un environnement donné, le Criquet pèlerin va réagir. On pourra observer des modifications dans les vitesses de développement, les taux de survie... que ce soit au niveau des oeufs, des larves ou des imagos. On pourra également observer, chez les imagos, des modifications de l'aptitude à migrer ou de la volonté de se déplacer.

Le centre d'un biomodèle est donc essentiellement une table de correspondance entre les types d'environnements et les réponses caractéristiques de l'espèce. Dans les cas les plus complexes, comme par exemple pour le Criquet pèlerin, on pourra être amené à gérer plusieurs milliers de combinaisons possibles.

Le but final est évidemment, connaissant l'environnement, d'en déduire le comportement de l'insecte, non seulement sur un site donné mais sur l'ensemble de l'aire d'habitat de l'espèce. Un bio-modèle se place d'emblée dans une optique très pragmatique et procède plus par exploitation de l'expérience que par abstraction [5]. Il ne s'agit pas d'analyser dans tous ses détails la dynamique des populations d'une espèce, mais plutôt d'exploiter certaines coïncidences entre dynamique des populations et macro-événements météorologiques. L'abstraction, la formulation mathématique, la finesse d'analyse, la précision sont sacrifiées au profit de la robustesse, de l'exactitude, du caractère opérationnel et de l'applicabilité sur l'ensemble de l'aire d'habitat.

Biomodèles développés par le PRIFAS (Tableau III)

Un certain nombre de biomodèles ont été développés depuis une quinzaine d'années et il n'est sans doute pas inutile de les évoquer ici afin de montrer l'évolution des recherches et la logique dans laquelle se situe le biomodèle Criquet pèlerin que nous développons actuellement au PRIFAS.

Le biomodèle LMI pour le Criquet migrateur malgache

Le premier biomodèle développé concernait le Criquet migrateur malgache. Ce biomodèle a maintenant une quinzaine d'années. C'est le premier de la série et évidemment le plus primitif. Cependant, il a permis de déboucher sur un système opérationnel de surveillance du Criquet migrateur à Madagascar.

Ce biomodèle était basé simplement sur l'étude de la pluviométrie mensuelle et permettait de déduire les risques de pullulations et de grégarisation avec une bonne fiabilité puisque 80% des macro-événements acridiens pouvaient être prévus.

Ce biomodèle fonctionne sur un pas de temps mensuel et permet en particulier :

- D'apprécier le sens de déplacement des ailés et le degré de synchronisation entre l'évolution du milieu d'une part, le cycle biologique du criquet d'autre part.
- De noter les régions bénéficiant de conditions écologiques optimales pour le Criquet migrateur. On a pu montrer que le maintien de ces conditions optimales sur une même région pendant deux ou trois mois consécutifs favorisait l'apparition de pullulations larvaires et d'essaims.

C'est sur cette constatation que repose le principe du système d'avertissement qui avait été mis en place à Madagascar dans les années 1970 [6].

Par ailleurs, l'utilisation de ce biomodèle a permis d'effectuer des simulations *a posteriori* sur les événements passés en utilisant les archives pluviométriques disponibles, archives qui existaient à Madagascar depuis les années 1930. L'utilisation de ces données a permis de reconstituer avec une bonne précision les grands événements acridiens depuis les années 30 jusqu'à nos jours et de conforter ainsi la fiabilité du système.

Ces mêmes principes de modélisation et de simulation ont été appliqués ensuite en Afrique de l'Ouest au cas du Criquet migrateur africain dans ses aires grégarigènes du delta central du Niger au Mali et du bassin du lac Tchad. Il a permis de reconstituer les grandes lignes de la dynamique des populations de l'espèce dans ces deux zones mais n'a jamais été mis en phase opérationnelle pour diverses raisons. La principale étant que dans ce cas la pluviométrie à elle seule est insuffisante et que l'on doit tenir compte des phéno-

Tableau III. Les biomodèles développés par le PRIFAS.

Densités	Espèces	Zones	Niveau de développement
1969-1973	Criquet migrateur	Madagascar	Opérationnel
1974-1975	Criquet migrateur	Afrique	Recherche
1976-1988	Criquet sénégalais	Afrique de l'ouest	Opérationnel

mènes de crue et de décrue des zones inondables. La seule méthode est d'utiliser les données de la télédétection spatiale ce qui n'était pas envisageable à l'époque.

Le biomodèle OSE pour le Criquet sénégalais

Le troisième type de biomodèle développé par le PRIFAS concerne le principal sauteriau de la zone sahélienne au sud du Sahara: il s'agit de *Oedaleus senegalensis* (Krauss, 1877), le Criquet sénégalais, qui a fait parler de lui au cours des années 1974-75 et 1986-87 [7].

Ce biomodèle, développé depuis les années 75-76 est entré en phase opérationnelle depuis maintenant deux ans. Il repose, bien sûr, sur la connaissance précise de l'insecte et de ses réponses face aux divers types d'environnements qu'il peut rencontrer dans son aire d'habitat en Afrique de l'Ouest.

La partie centrale du biomodèle est une table de correspondance entre les types d'environnements significatifs pour le criquet et certains phénomènes clés de sa biologie: natalité, mortalité, vitesses de développement, phénomènes de dispersion. Les facteurs clés de l'environnement pris en compte sont ici, outre la pluviométrie, la photopériode, la température, le bilan hydrique du sol, l'état de la végétation [7].

Ce biomodèle fonctionne sur un pas de temps décadaire et, après avoir été utilisé pendant plusieurs années sous forme manuelle, il en existe maintenant une version informatisée, utilisée depuis deux ans et actuellement en cours d'implantation dans les différents services de protection des végétaux des pays du Sahel ainsi qu'au Centre AGRHYMET de Niamey.

Ce biomodèle permet, tout d'abord, localement et pour une station donnée, de reconstituer la dynamique des populations d'*Oedaleus senegalensis* en temps réel, décade après décade, ou bien d'effectuer des reconstitutions historiques sur des données du passé. Il permet ensuite, à l'échelle de l'ensemble du Sahel ouest africain, de dresser des cartes décadaires des potentialités de développement du criquet. Ces cartes permettent de suivre l'évolution des zones où se situent des risques importants de pullulations (fig. 9).

Le biomodèle est alimenté en données sur l'environnement par différents organismes. L'essentiel des données parvient rapidement, actuellement au PRIFAS-Montpellier, dans un délai de deux jours après la fin de chaque décade. Les traitements informatiques sont effectués immédiatement et les cartes de risques de pullulations transmises par télécopie aux services utilisateurs à J+5 environ. Le biomodèle OSE fournit des déductions ayant un pouvoir résolutif supérieur aux rares informations de terrain disponibles. C'est d'ailleurs l'intérêt de ce genre de modèle que de pouvoir pallier, dans une certaine mesure, au manque de données biologiques.

Les perfectionnements en cours consistent d'abord à rechercher un approvisionnement en données de base plus rapide et plus régulier, ensuite à confronter les déductions du biomodèle avec la réalité afin de l'étalonner plus finement.

Récemment, en mai 1988, un atelier de biomodélisation tenu à Niamey a permis de confronter les déductions du biomodèle avec la réalité. Tous les participants ont estimé que le biomodèle OSE pouvait être considéré comme un outil opérationnel, permettant d'expliquer correctement la situation acridienne, d'en effectuer le suivi et d'aider à l'orientation des prospections au sol.

Le biomodèle SGR sur le Criquet pèlerin

Les réussites remportées par l'approche biomodélisation, en particulier dans les cas du Criquet migrateur malgache et du Criquet sénégalais nous ont encouragé à développer un

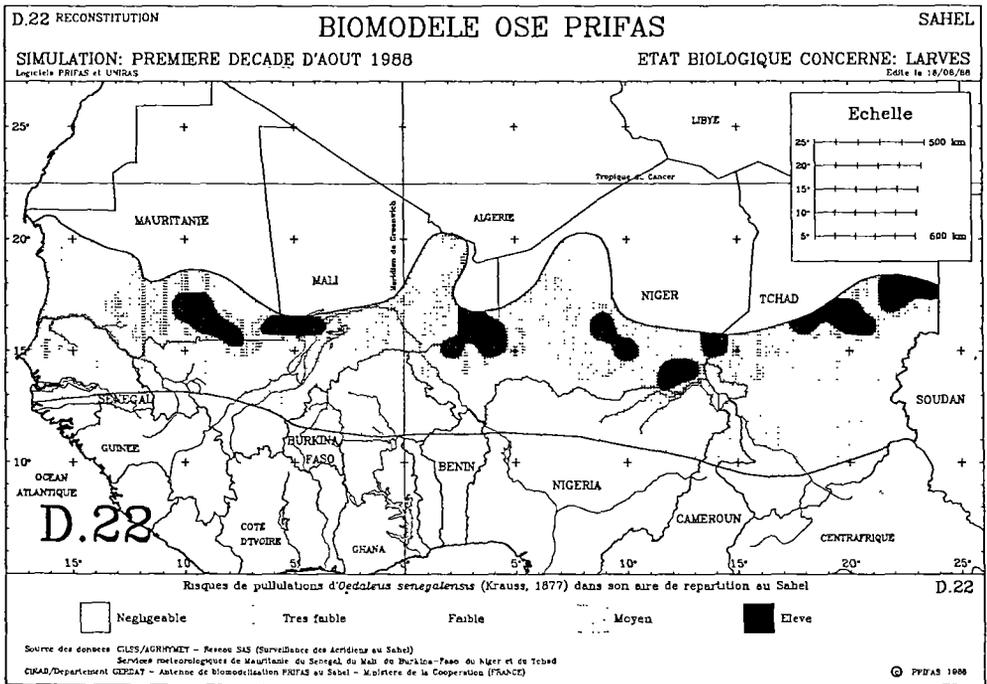


Figure 9. Exemple de carte de risques de pullulations d'*Oedaleus senegalensis* obtenue à l'aide du bio-modèle OSE [8] (source PRIFAS, 1988).

biomodèle spécifique au Criquet pèlerin. Les travaux ont commencé en 1983 et se poursuivent encore actuellement. La première version opérationnelle devrait être prête pour le milieu de l'année 1990.

Comme pour les autres, l'élaboration du biomodèle Criquet pèlerin a comporté quatre phases:

- une phase de documentation,
- une phase de conception,
- une phase de validation,
- une phase d'exploitation et de perfectionnement.

La phase de documentation a consisté à rassembler un grand nombre de connaissances disponibles sur le Criquet pèlerin, que ces connaissances soient publiées ou non, qu'elles soient scientifiques ou empiriques. Nous avons, en particulier, essayé d'exploiter au mieux l'expérience des hommes de terrain.

La phase de conception a ensuite permis de mettre en évidence les principaux facteurs discriminants de l'environnement du Criquet pèlerin, de hiérarchiser les effets de ces facteurs, de combiner ces facteurs entre eux pour définir des types d'environnements, de faire l'inventaire des réponses possibles de l'acridien face à ces types d'environnements. Deux tables de correspondance types d'environnements/réponses de l'acridien ont été réalisées.

Ces tables de correspondance comportent 216 types d'environnements et 9 types de réponses de l'acridien sont distinguées selon qu'il s'agit d'oeufs, de larves ou d'ailés. L'amplitude des réponses est graduée de 0 à 5, 0 correspondant à une situation d'échec et 5 à une réussite complète. On dispose, par ailleurs, de tables de correspondance pour convertir les indices en valeurs absolues. Il y a une table pour les vitesses de développement, une pour les taux de survie, une pour la fécondité des femelles et enfin une table des probabilités d'émigration ou d'immigration des ailés. Ces tables constituent en quelque sorte le coeur du biomodèle.

Les données de base sur l'environnement sont constituées principalement par la pluviométrie, la température, le bilan hydrique du sol, mais également par les vecteurs de vents à différentes altitudes pour déterminer l'orientation et la distance que les criquets peuvent parcourir en vol.

Comme ce biomodèle est conçu au niveau de l'ensemble de l'aire d'habitat de l'espèce, il a également été nécessaire de réaliser une régionalisation écologique de cette aire d'habitat du Criquet pèlerin. Chaque région de l'aire d'habitat présente en effet des particularités; elles n'offrent pas toutes les mêmes possibilités pour le développement et la reproduction du Criquet pèlerin et l'on doit en tenir compte.

La phase de conception du biomodèle est actuellement en passe d'être terminée. Les programmes informatiques sont en cours de rédaction par une équipe d'informaticiens. La phase de validation devrait commencer sous peu, d'ici la fin de l'année. Pour cela nous collectons actuellement pour la période 1984-1989, l'ensemble des données météorologiques utiles auprès du Centre européen de prévisions météorologiques de Reading, en Grande Bretagne. Ces données devraient permettre de faire fonctionner le modèle pour la période correspondante et d'observer si l'on retrouve les principaux événements acridiens et, en particulier, si le modèle permet de rendre compte du dernier départ d'invasion de 1986/89.

Comme pour le Criquet sénégalais, il n'est pas question d'obtenir d'emblée quelque chose de parfait, mais d'avoir un outil opérationnel que l'on puisse améliorer peu à peu avec l'expérience et par confrontation avec la réalité.

Finalement, la biomodélisation du Criquet pèlerin doit permettre de rassembler dans un cadre cohérent un certain nombre de moyens dont on ne disposait pas il y a seulement quelques années. On peut penser :

- à la micro-informatique;
- à l'amélioration des réseaux de transmission des données qui permet actuellement d'envisager de pouvoir disposer en temps réel des informations météorologiques nécessaires sur une si vaste zone;
- à l'utilisation des informations obtenues par l'imagerie satellitaire qui pourront être intégrées dans le biomodèle et devraient fournir une couverture exhaustive de l'aire d'habitat pour différents paramètres de l'environnement (état de développement de la végétation en particulier).

L'objectif final reste bien sûr d'avoir un outil permettant d'obtenir, régulièrement (d'une manière décadaire) et en temps réel, une vue globale de la situation sur l'ensemble de l'aire d'habitat du Criquet pèlerin et de localiser les zones à hauts risques de pullulations et les zones à hauts risques de contamination.

Les informations en provenance du terrain sont souvent rares, de valeurs inégales, transmises dans des délais variables, ceci même en période d'invasion. Le nombre et la qualité des signalisations n'ont guère été améliorées au cours des trois dernières années. De plus, la surveillance au sol ne pourra jamais se faire partout en même temps (à cause

des difficultés d'accès, du manque de moyens ou de motivation, de l'impossibilité de prospecter les zones de conflits). Peut-on lutter contre un ravageur quand on ne sait pas où il est, ce qu'il fait, à quel moment il est vulnérable ?

Devant cette insuffisance de l'information de terrain, on espère que les déductions du biomodèle (disponibles en tout point de l'aire d'habitat avec une résolution du quart de degré carré), ajoutées bien sûr aux renseignements - hétérogènes et fragmentaires - collectés sur le terrain, serviront à orienter les prospections terrestres et à définir une stratégie offensive de lutte préventive. La seule possibilité réaliste et économique pour empêcher le développement d'une invasion consistant à détecter rapidement et à détruire tout regroupement anormal d'individus dès la première génération. Après, le coût des opérations croît exponentiellement et l'efficacité n'est plus garantie [8].

Conclusion

Le Criquet pèlerin, ravageur d'importance économique majeure, est un organisme opportuniste, à grands débattements démographiques, capables de s'adapter, à l'état solitaire comme à l'état grégaire, à des situations écologiques variées. Occupant une aire géographique très vaste en régions désertiques et semi-désertiques, il est très difficile à surveiller. La récente invasion des années 1987/88 a mis en évidence à la fois la validité et les faiblesses du dispositif actuel de lutte préventive. Des solutions sont à l'étude : renforcement des infrastructures existantes, recherche de nouveaux moyens de lutte, utilisation des techniques de télédétection spatiale et de biomodélisation pour améliorer la surveillance de

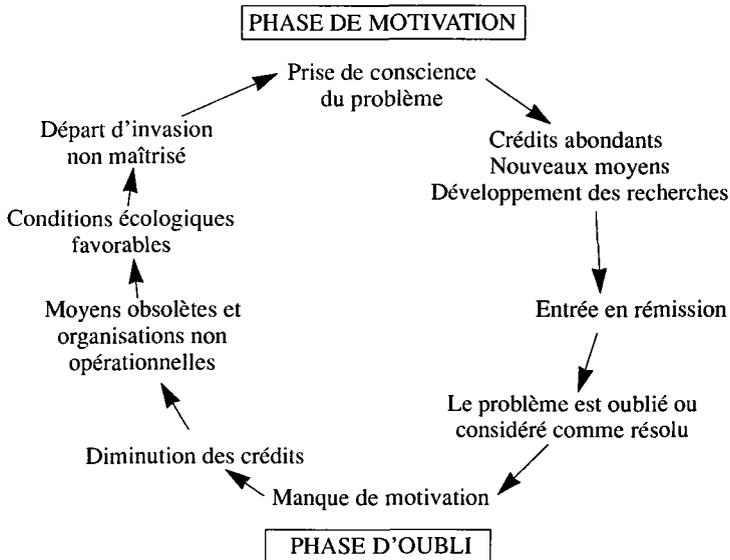


Figure 10. La théorie des phases appliquée, non plus aux criquets, mais aux hommes. Le passage d'une phase à l'autre dépend, bien sûr, de la densité des criquets.

l'environnement de cet acridien et détecter rapidement toute zone potentiellement favorable à des débuts de grégarisation.

Cependant, si en période d'invasion acridienne des financements importants sont disponibles, ils sont quasi entièrement consacrés à l'urgence dans le cadre d'appui logistique : fourniture de pesticides, de matériels d'épandage, de matériel de transport. Très peu de fonds sont utilisés pour la surveillance, la recherche d'accompagnement, la capitalisation des expériences.

Dès que le fléau régresse, les fonds se tarissent. On parle pendant quelques années de projets de recherche, de lutte préventive, de renforcement des structures. Puis le souvenir de l'invasion s'efface, les financements se réduisent en deçà d'un niveau opérationnel, les spécialistes se dispersent, la motivation fléchit (fig. 10). Comment dans ces conditions conserver une structure opérationnelle contre un fléau intermittent? On ne peut que souhaiter que les erreurs commises dans le passé ne se renouvellent pas et que les bonnes résolutions prises actuellement ne restent pas lettres mortes mais permettent l'établissement effectif d'une structure pérenne de lutte préventive contre le Criquet pèlerin, seule assurance de pouvoir contenir à un coût raisonnable tout nouveau départ d'invasion.

Références

1. Duranton JF, Lecoq M. (1990). Le Criquet pèlerin au Sahel. Collection Acridologie opérationnelle n°6. CILSS-DFPV Niamey; 163 p.
2. Lecoq M. (1989). Le Criquet pèlerin, *Schistocerca gregaria*, (Forskål, 1775). Cours de formation en lutte anti-acridienne destiné aux agents de la protection des végétaux de Tunisie. 23 janvier au 4 février 1989. PRIFAS/CIRAD, Montpellier ; doc multigr, D.316, 134p.
3. COPR. (1981). Desert Locust Forecasting Manual. COPR, London; D. Pedgley (éd) T1: 268p, T2: 142p.
4. Duranton JF, Launois M, Launois-Luong MH, Lecoq M, Rachadi T. (1989). La lutte préventive contre le Criquet pèlerin en Afrique. Initiatives à encourager au Sahel et au Maghreb. Contribution du PRIFAS à la réflexion de la Communauté internationale sur le thème de la prévention des invasions généralisées de Criquet pèlerin. PRIFAS/CIRAD, Montpellier; doc multigr: 31p.
5. Launois M. (1984). Une approche pragmatique de la modélisation écologique : les biomodèles à géométrie variable. PRIFAS/CIRAD, Montpellier; doc multigr, D.192: 58p.
6. F.A.O. (1973). Recherches sur le Criquet migrateur malgache. Rapport sur les résultats, conclusions et recommandations du Projet. AGP: DP/MAG/70/523. FAO, Rome; 73p.
7. Launois M. (1978). Modélisation écologique et simulation opérationnelle en acridologie; application à *Oedaleus senegalensis* (Krauss, 1877). Ministère de la Coopération et GERDAT, Paris; 214p.
8. Launois M. (1989). Le Criquet pèlerin grégaire : une catastrophe naturelle mobile. Journée d'informations sur la prévention des catastrophes naturelles. 16 novembre 1989. Académie Royale des Sciences d'Outre-Mer, Bruxelles (Belgique). PRIFAS/CIRAD, Montpellier; doc multigr, D.353: 10p.

Bibliographie générale

9. COPR. (1978). The Desert Locust Pocket Book. COPR, London ; 36p.
10. COPR. (1982). The locust and grasshopper agricultural manual. COPR, London; 690p.
11. Duranton JF, Launois M, Launois-Luong MH, Lecoq M. (1982). Manuel de prospection acridienne en zone tropicale sèche. GERDAT et Ministère des Relations Extérieures, Paris ; T1 et T2: 1496p.

12. Duranton JF, Launois M, Launois-Luong MH, Lecoq M, Rachadi T. (1987). Guide anti-acridien du Sahel. Ministère de la Coopération, Paris; 344p.
13. FAO. (1975). Manuel du prospecteur. Commission de lutte contre le Criquet pèlerin en Afrique du Nord-Ouest . Rapport N° NWA/DL/SS/2. Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture, Rome; 69p + 17 p d'annexes.
14. Launois-Luong MH, Lecoq M. (1988). Une nouvelle invasion du Criquet pèlerin. AGRITROP, 12(2): 83-96.
15. Lecoq M. (1988). Les Criquets du Sahel. Collection Acridologie Opérationnelle n°1. CILSS-DFPV, Niamey; 130p.
16. Lecoq M. (1988). Les biomodèles en acridologie et leurs applications opérationnelles. In meeting on Desert Locust research "Defining future research priorities". Rome, Italie, 18-20 octobre 1988. FAO, Rome: 81-99.
17. Lecoq M, Mestre J. (1988). La surveillance des sauteriaux du Sahel. Collection Acridologie Opérationnelle n°2. CILSS-DFPV, Niamey; 62p.
18. Steedman A. (éd), (1988). Locust Handbook. ODNRI, London; 180p.
19. Uvarov BP. (1966). Grasshoppers and Locusts. Vol 1. University Press, Cambridge; 481p.
20. Uvarov BP. (1977). Grasshoppers and Locusts. Vol 2. University Press, Cambridge; 613p.

Liste des sigles et abréviations

AGRHYMET	Centre Régional de Formation et d'Application en Agrométéorologie et Hydrologie Opérationnelle
CCE	Commission des Communautés Européennes
FAC	Fonds d'Aide et de Coopération (France)
FAO	Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture
FIDA	Fonds International de Développement Agricole
ICIPE	International Centre for Insect Physiology and Ecology
OCLALAV	Organisation Commune de Lutte Antiacridienne et de Lutte Antiaviaire
PNUD	Programme des Nations Unies pour le Développement
SPAAR	Spécial Program for African Agricultural Research

PARTIE II

Polymorphisme phasaire des criquets grégarisables et régulation endocrinienne de leur développement et de leur reproduction

7

Structure des glandes endocrines et chimie des hormones des criquets grégarisables

J. GIRARDIE

Laboratoire de Neuroendocrinologie, URA CNRS 1138, Université de Bordeaux I, Avenue des Facultés, 33405 Talence Cedex, France

L'appareil endocrine du criquet comprend tous les ganglions du système nerveux central et trois glandes céphaliques paires : les corpora cardiaca, les corpora allata et les glandes prothoraciques.

Système nerveux central

Il se compose d'un cerveau dorsal et d'une chaîne nerveuse ventrale. Ce système est semblable chez la larve et l'adulte.

Cerveau (figs. 1 et 2)

Il repose sur le tube digestif et résulte de la fusion de 3 ganglions : le protocérébron (Br1), le deutocérébron (Br2) et le tritocérébron (Br3).

Il est accolé aux lobes optiques (opL) et est relié au premier ganglion de la chaîne nerveuse ventrale (SoeGng) par le collier périœsophagien (Coecon). Le cerveau possède de nombreux nerfs :

- 3 nerfs reliant les 2 ocelles latéraux et l'ocelle médian (O) au protocérébron
- 2 paires de nerfs reliant le protocérébron aux corpora cardiaca (d1 ou NCC I, d2 ou NCC II)

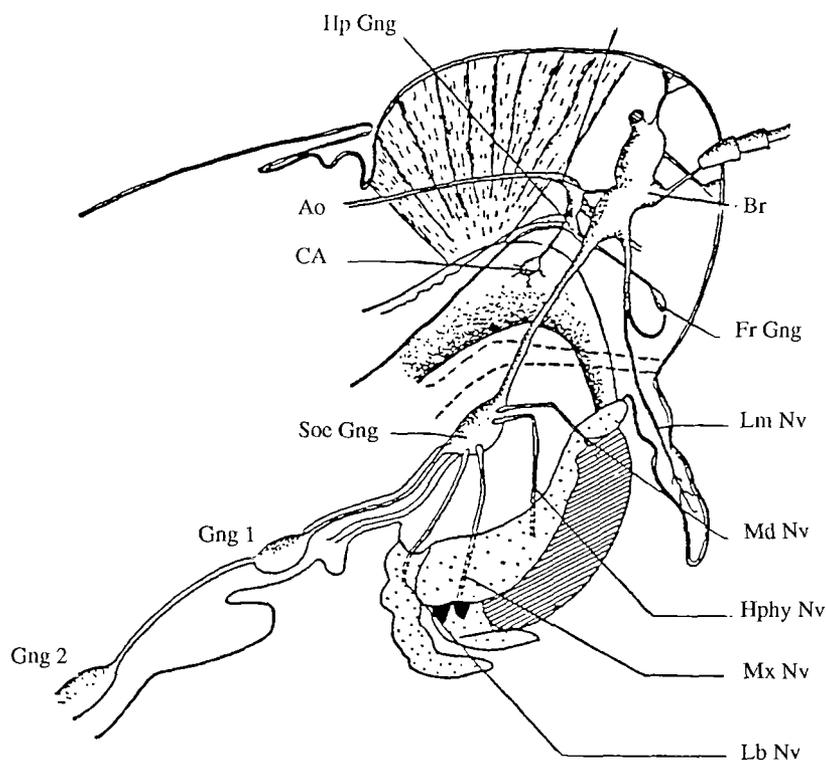


Figure 1. Coupe parasagittale de la tête et du thorax avec le cerveau et le début de la chaîne nerveuse ventrale en place. (Représentation schématique d'après FO Albrecht 1953).

Ao = aorte, Br = cerveau, CA = corpora allata, Fr Gng = ganglion frontal, Gng 1 et 2 = ganglions thoraciques 1 et 2, Hp Gng = ganglion hypocérébral, Hphy Nv = nerf hypopharyngial, Lb Nv = nerf labial, Lm Nv = nerf labral, Md Nv = nerf mandibulaire, Mx Nv = nerf maxillaire, Oe Gn = ganglion œsophagien, Soc Gn = ganglion sous-œsophagien.

- 1 paire de nerfs reliant le tritocérébron aux corpora cardiaca (NCC III, fig. 8)
- 1 paire de nerfs antennaires (Ant Nv) relié au deutocérébron
- 1 paire de nerfs labrofrontal (LFNv) reliant le tritocérébron au ganglion frontal (FrGng) et se prolongeant par le nerf labral (LmNv)

Chaîne nerveuse ventrale (figs. 3, 4 et 5)

Elle comprend 9 ganglions reliés par des connectifs.

Le premier ganglion est situé sous l'oesophage d'où son nom de ganglion sous-oesophagien (SoeGng). Il innerve les diverses pièces buccales par 4 paires de nerfs (figs. 1 et 4) : 1 paire de nerfs innervant l'hypopharynx (HphyNv), 1 paire de nerfs mandibulaires

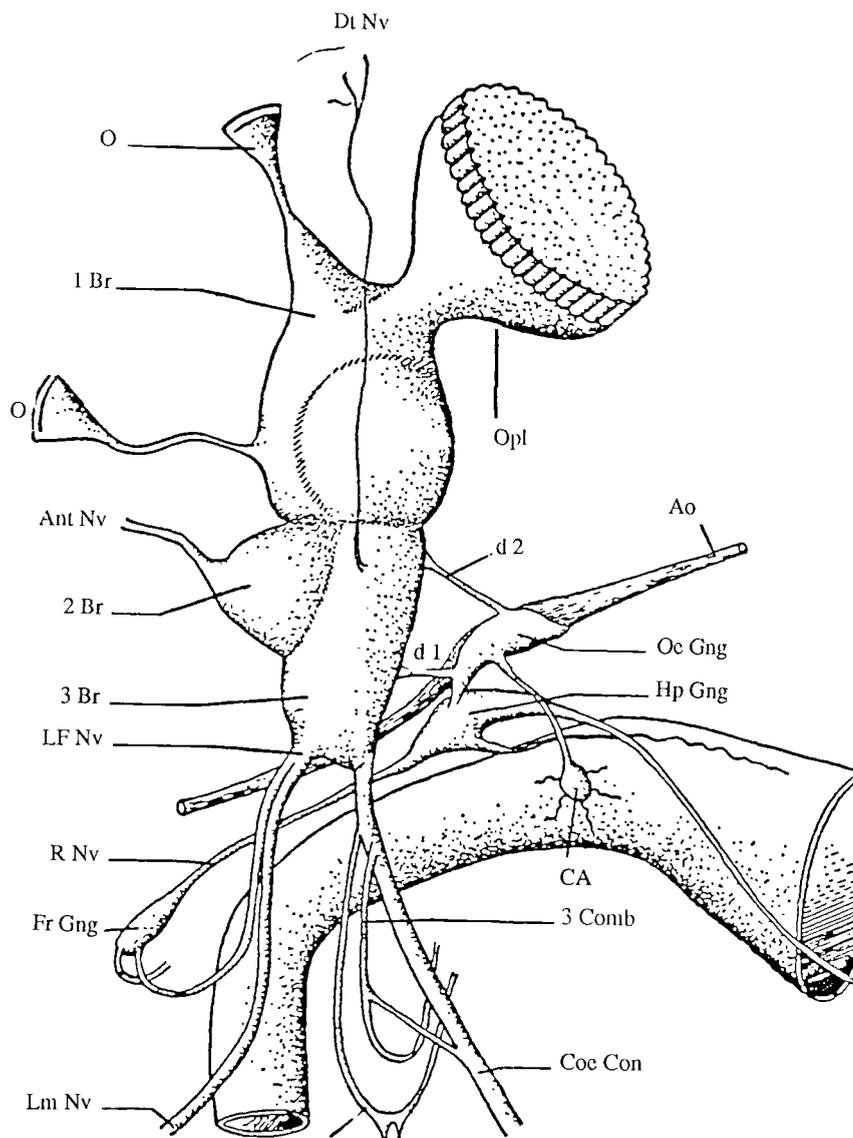


Figure 2. Vue latérale du cerveau (d'après F.O. Albrecht 1953).

Ant Nv = nerf antennaire, Ao = aorte, 1 Br = cerveau antérieur, 2 Br = cerveau moyen, 3 Br = cerveau postérieur, CA = corpora allata, Coe Con = connectif périoesophagien, 3 Com a et b = commissures post-oesophagiennes, d 1 et d 2 = nerf paracardiaques I et II Dt Nv : nerf dorsal tégumentaire, Fr gng = ganglion frontal, Hp Gng = ganglion hypocérébral, LF Nv = nerf labro-frontal, Lm Nv = nerf labral, O = ocelle, Oc Gng = ganglion œsophagien, Op L = lobe optique, R Nv = nerf récurrent.

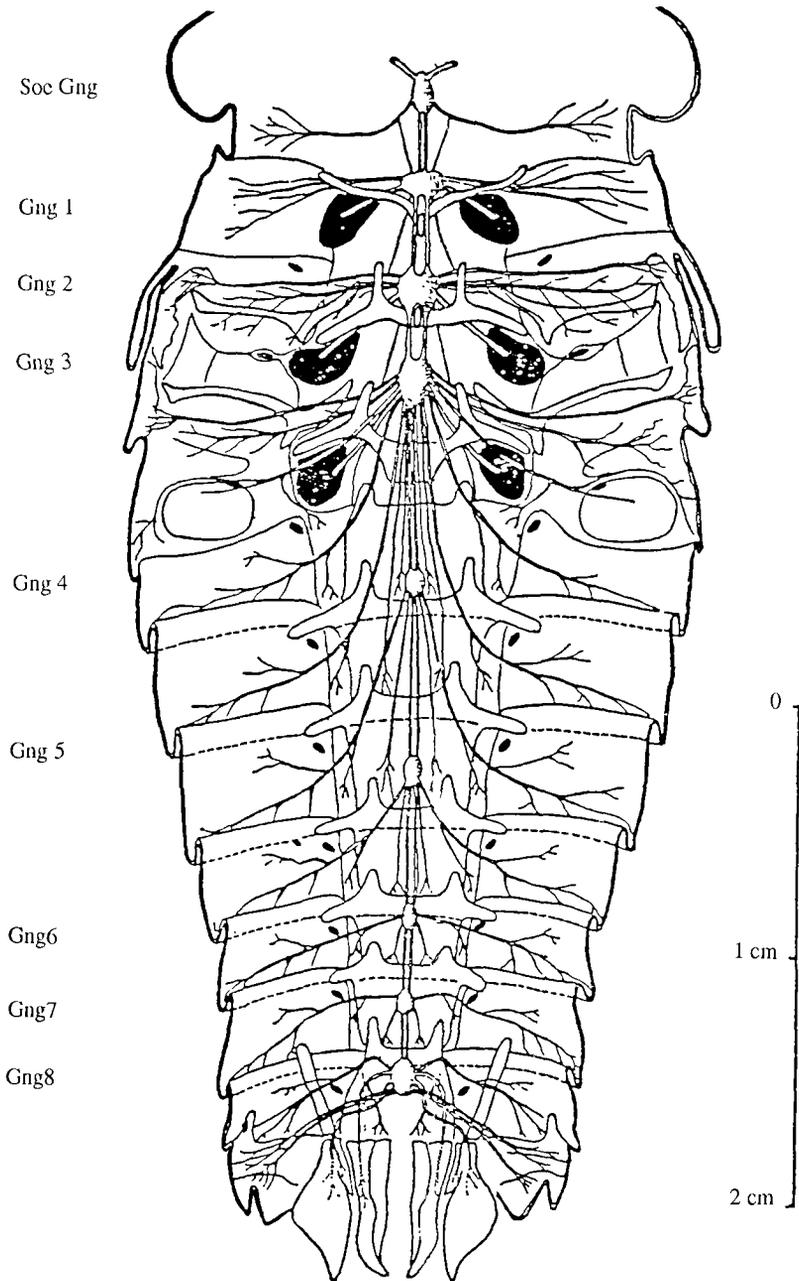


Figure 3. Chaîne nerveuse ventrale en place. (*Représentation d'après F.O. Albrecht, 1953*).
Gng 1, 2 et 3 = 3 ganglions thoraciques, gng 4 à 8 = ganglions abdominaux, Soe Gng = ganglion sous-œsophagien.

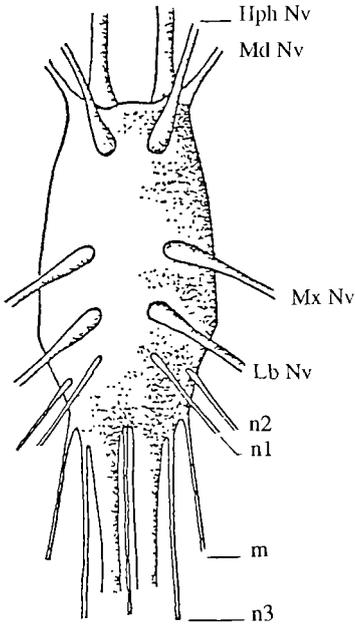


Figure 4. Vue ventrale du ganglion sous-œsophagien avec les nerfs. (Représentation d'après F.O. Albrecht 1953).

Hph Nv = nerf hypopharyngien, Md Nv = nerf mandibulaire, Mx Nv : nerf maxillaire, Lb Nv = nerf labial, m = nerf salivaire, n 1, 2 et 3 = nerfs du cou.

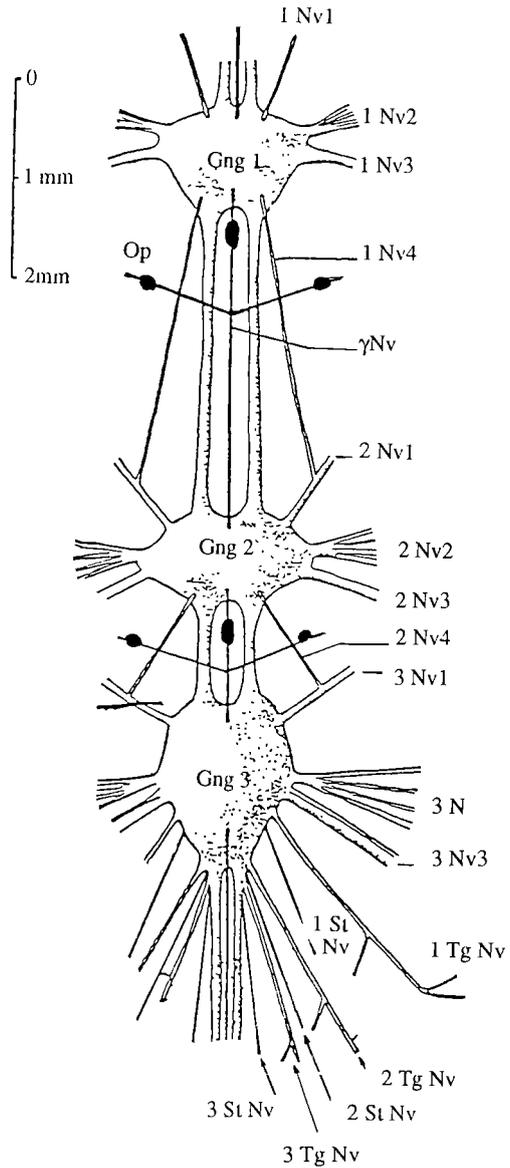


Figure 5. Vue dorsale des ganglions thoraciques. (Représentation d'après F.O. Albrecht 1953).

Gng 1 = ganglion protothoracique, Gng 2 = ganglion mésothoracique, Gng 3 = ganglion métathoracique, 1-2-3 Nv 1-2-3 = nerfs somatiques des 3 ganglions thoraciques, OP = organes périsymphatiques transverses et médians, 1-2-3 Tg Nv = nerf tergal des trois premiers ganglions abdominaux fusionnés au ganglion métathoracique, 1-2-3 Sr Nv = nerf sternal des trois premiers ganglions abdominaux fusionnés au ganglion métathoracique, vNv = nerf sympathique longitudinal médian.

(MdNv) 1 paire de nerfs maxillaires (MxNv), et 1 paire de nerfs innervant le labre (LbNv). Outre ces nerfs existent 3 paires de nerfs innervant le cou (nl, 2 et 3).

Les 2^e, 3^e et 4^e ganglions occupent chacun 3 segments thoraciques. Ils constituent les ganglions thoraciques (fig. 5). Ils innervent les pattes et les 2 derniers les ailes. Le troisième ganglion thoracique est fusionné avec les trois premiers ganglions abdominaux.

La chaîne se poursuit par 5 ganglions abdominaux dont le dernier est appelé ganglion génital, car il innerve l'appareil génital mâle ou femelle.

De chaque ganglion thoracique ou abdominal partent ventralement des nerfs qui innervent les tergites (dorsaux) et les sternites (ventraux).

Structure du ganglion

Chaque ganglion est entouré d'une enveloppe ou membranes neurales et comprend une zone périphérique renfermant les corps cellulaires des neurones et une zone centrale contenant les prolongements. Les neurones sont généralement de type unipolaire avec un corps cellulaire placé en dérivation et réuni aux prolongements par un pédoncule. De ce fait, il n'existe pas de zone de contact dans la zone périphérique. Les corps cellulaires ventraux appartiennent à des neurones d'association et les corps cellulaires dorsaux à des neurones moteurs.

La zone centrale est composée de 2 types de fibres : des fibres en route sans terminaison et des fibres enchevêtrées avec synapses.

Cellules neurosécrétrices

Certains neurones ont une activité sécrétoire de glande et sont appelés cellules neurosécrétrices. Les produits synthétisés sont soit des amines soit des peptides.

Visualisation des produits de neurosécrétion

Produits aminiques : deux techniques anatomiques

- Autofluorescence : les amines biogènes ont la propriété de former un composé fluorescent lorsqu'elles sont fixées par le formol mais ce composé est soluble dans l'eau. L'autofluorescence n'est donc visible que dans un tissu déshydraté. La longueur d'onde de la fluorescence émise diffère selon l'amine : verte pour les catécholamines, jaune pour les indolamines.

- Immunocoloration : les amines sont révélées par des anticorps spécifiquement dirigés contre les amines (généralement couplées à des protéines) et marquées soit par une substance fluorescente soit par des enzymes (révélées par leur substrat).

Produits peptidiques : deux techniques anatomiques

- Colorants signalétiques : les colorants signalétiques sont soit des colorants acides (éosine, azocarmin) qui se fixent sur des produits de neurosécrétion à groupements basiques (type B) soit des colorants basiques (fuchsine paraldéhyde, bleu Victoria) qui se

fixent sur des produits de neurosécrétion à groupements acides obtenus après oxydation (type A)

- Immunocoloration : cette technique utilise de nombreux anticorps dirigés contre des hormones de Vertébrés ou d'Invertébrés.

Topographie des cellules neurosécrétrices

Corps cellulaires aminergiques

Leur distribution est comparable à celle du criquet grégaire ou solitaire.

Cerveau : fig. 6, à droite vue antérieure, à gauche vue plus postérieure.

Il contient quelques corps cellulaires sérotoninergiques (cercles pleins) dans le protocérébron (P) médian et en particulier dans la pars intercerebralis (PI); de plus nombreux corps

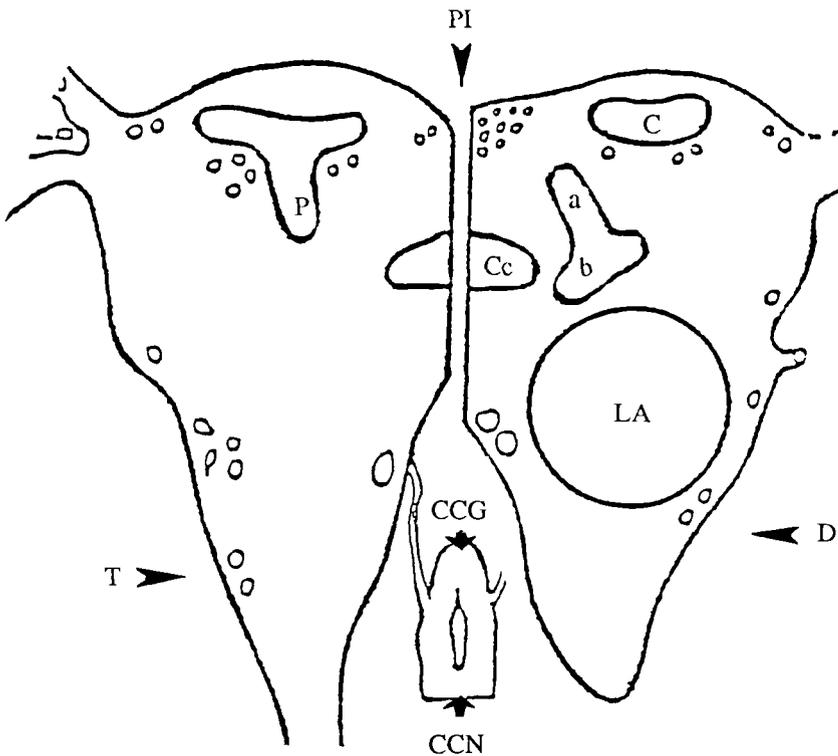


Figure 6. Projections sur coupes transversales du cerveau des corps cellulaires sérotoninergiques (cercles pleins) et dopaminergiques (cercles vides). (Représentation schématique d'après J. Vieillemaringe, 1988). A droite demi-section antérieure, à gauche demi-section postérieure.

ab = racines des corps pédonculés, c = calice, Cc = corps central CCG = corpora cardiaca glandulaire, CCN = corpora cardiaca nerveux, D = deutocérébron ou cerveau moyen, LA = lobe antennaire, P = protocérébron ou cerveau antérieur, PI = pars intercerebralis, T = tritocérébron ou cerveau postérieur.

cellulaires dopaminergiques (cercles vides) dans le protocérébron médian et aussi latéral sous le calice (C) du corps pédonculé (P), dans le deutocérébron (D) en périphérie du lobe antennaire (LA) et dans le tritocérébron (T).

Chaîne nerveuse ventrale : fig. 7

Tous les ganglions de la chaîne ganglion sous-œsophagien (GSO) les 3 ganglions thoraciques (G Th 1, 2 et 3) et les ganglions abdominaux (G Abd) contiennent des corps cellulaires dopaminergiques (cercles vides). Les corps cellulaires sérotoninergiques (cercles pleins) sont limités aux ganglions thoraciques et à l'avant dernier ganglion abdominal.

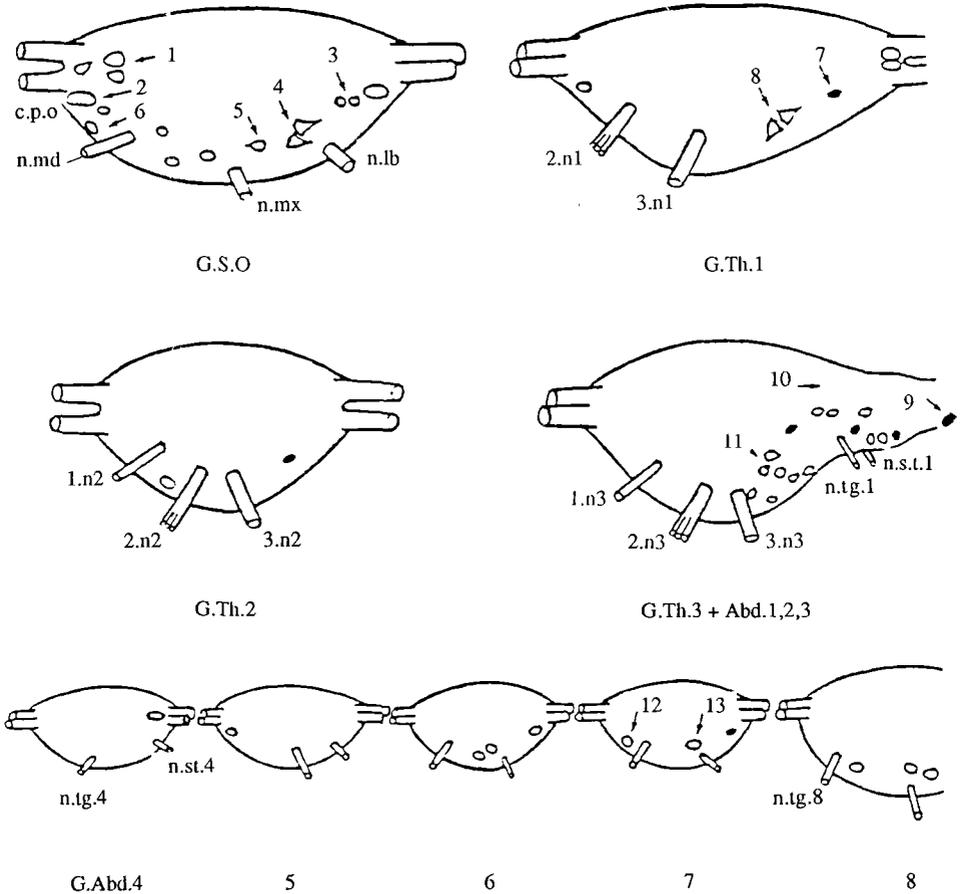


Figure 7. Projections sur coupes sagittales des ganglions de la chaîne nerveuse ventrale des corps cellulaires sérotoninergiques (cercles pleins) et dopaminergiques (cercles vides). (Représentation schématique d'après J. Vieillemaringe 1988).

c.p.o = collier périoœsophagien, G.S.O = ganglion sous-œsophagien, G.Th.1 = ganglion thoracique 1, G.Th.2 = ganglion thoracique 2, G/Th.3+Abd.1,2,3 = ganglion métathoracique fusionné aux trois premiers ganglions abdominaux, G. Abd. 4,5,6,7 et 8 = ganglions abdominaux 4 à 8, 1,2,3.n = nerf somatiques, n/lb = nerf labial, n.md = nerf mandibulaire, n.mx = nerf maxillaire, n.st. = nerf sternal, n;tg. = nerf tergal.

Corps cellulaires peptidergiques

Ils sont présents dans tout le système nerveux central.

Les cellules de type B (produit de sécrétion à groupements basiques) sont plus répandues que les cellules de type A (produit de sécrétion à groupements acides après oxydation) qui sont limitées à la pars intercerebralis et à 2 péricaryons de type A du ganglion sous-œsophagien.

L'utilisation d'anticorps dirigés contre des hormones de Vertébrés ou d'Invertébrés a permis d'augmenter le nombre et la variété de cellules neurosécrétrices détectées et a amélioré considérablement la visualisation des prolongements. Il est impossible de donner une topographie détaillée de toutes les cellules peptidergiques.

Exemples :

- La distribution des corps cellulaires immunocolorés par un anticorps anti-cholecystokinine est schématisée au niveau du cerveau du ganglion sous-œsophagien (fig. 8) et des ganglions thoraciques (figs. 9 B et C) et abdominaux (fig. 9 D).

- La topographie des prolongements des 2 péricaryons de type A immunocolorés par un anticorps anti-vasopressine dans le ganglion sous-œsophagien qui envahissent tout le système nerveux central est schématisée dans le ganglion sous-oesophagien et le cerveau (fig. 10) et dans un ganglion thoracique (fig. 11).

Cellules à la fois aminergiques et peptidergiques

Malgré des études de colocalisation peu avancées il apparait que des cellules neurosécrétrices peuvent élaborer à la fois une amine et un peptide et même plus d'un peptide.

Exemples :

- Les cellules neurosécrétrices protocérébrales médianes de type A1 produisent de la dopamine et la neuroparsine chez le criquet migrateur.

- Les 2 cellules de type A du ganglion sous-œsophagien du criquet pèlerin produisent une substance apparentée immunologiquement à la vasopressine et un peptide présentant des analogies de séquence avec le facteur cardioaccélération des mollusques.

Terminaisons axoniques

Les axones des cellules neurosécrétrices peuvent se terminer:

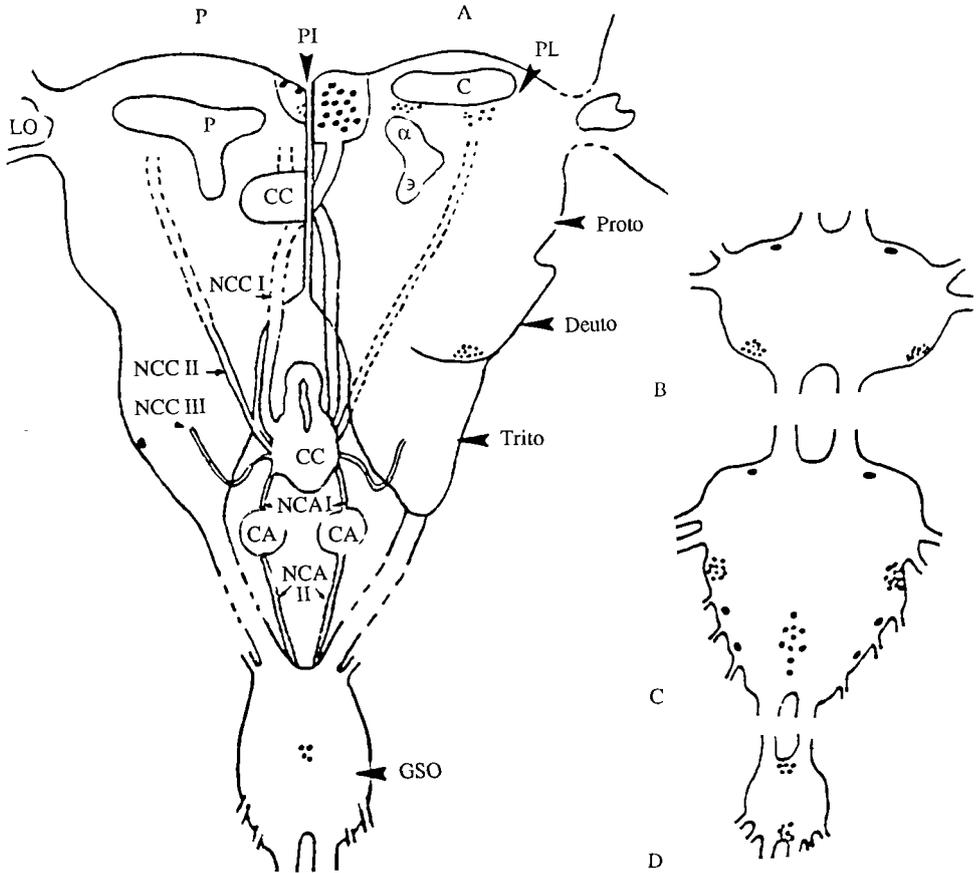
- dans le neuropile en établissant des contacts synaptiques avec des prolongements d'autres neurones. Exemple : les fibres des cellules dopaminergiques du tritocérébron et du protocérébron médian postérieur pourraient se terminer au niveau du corps central (cc, fig. 6).

- dans les nerfs juste au-dessous des enveloppes et les produits libérés pourront parvenir dans l'hémolymphe. Exemple : les axones des 2 cellules de type A du ganglion sous-oesophagien se terminent dans la partie proximale de chaque nerf du ganglion sous-oesophagien ou des ganglions thoraciques et abdominaux.

- au contact de l'organe cible

Exemple : certains prolongements des cellules peptidergiques de la pars lateralis qui empruntent le nerf paracardiaque externe (N2, NccII) se terminent au voisinage des cellules des corpora allata (CA) (fig. 8).

- en se rassemblant pour former un organe neurohémal directement baigné par l'hémolymphe



Figures 8 et 9. Projections sur coupes transversales du cerveau et de trois ganglions de la chaîne nerveuse ventrale des corps cellulaires immunocolorés par un anticorps anti-cholécystokinine (selon M. Tamarelle et al., 1988).

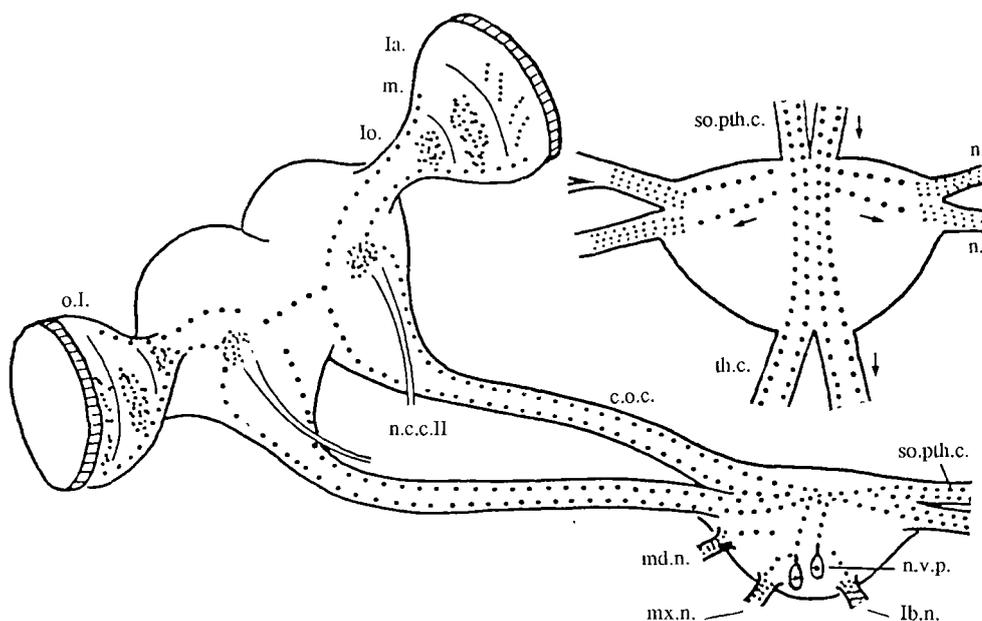
A = section antérieure, P = section postérieure du cerveau, B = ganglion mésothoracique, C = ganglion métathoracique, D = dernier ganglion abdominal.

C = calince des corps pédonculés, CA = corpora allata, CC = corps central cc = corpora cardiaca, DEUTO = deuto cérébrun ou cerveau moyen, GSO = ganglion sous-œsophagien, LO = lobe optique, NCA I = nerf allato-cardiaque NCA II = nerf reliant les corpora allata au ganglion sous-œsophagien, NCC I, II et III = nerfs paracardiaques I, II et III, .P = corps pédonculé, PI = pars intercerebralis, PL = protocérébrun latéral, PROTO = protocérébrun, TRITO = tritocérébrun.

Il existe deux types d'organes neurohémaux :

- Les *corpora cardiaca* (figs. 6 et 8) qui regroupent les extraits axoniques des cellules neurosécrétrices principalement cérébrales,

- Les *organes pèrisympathiques* (fig. 5) à disposition métamérique sur les nerfs sympathiques médians et transverses qui regroupent des terminaisons axoniques des cellules neurosécrétrices de type B de la chaîne nerveuse ventrale.



Figures 10 et 11. Vue postérieure du cerveau relié au ganglion sous-œsophagien et du ganglion prothoracique isolé. Représentation schématisique de la distribution des fibres et des corps cellulaires immunocolorés par un anticorps anti-vasopressine (d'après C. Rémy et J. Girardie 1980).

c.o.c. = collier périœsophagien, La. = lamina, Lb.n = nerf labial, Lo. = lobula, m.d.n. = nerf mandibulaire, mx. n. = nerf maxillaire, n.2 et n.3 = nerfs somatiques, n.c.c.II = nerf paracardiaque II, n.v.p. = corps cellulaire immunocoloré, o.&. = lobe optique, so.pth.c. = connectif sous-œsophagien, th.c. = connectif thoracique.

Caractéristiques ultrastructurales des cellules neurosécrétrices (fig. 12)

Les cellules neurosécrétrices se distinguent des neurones conventionnels par un développement important des organites responsables de la synthèse protidique : ribosomes, reticulum endoplasmique rugueux ou ergastoplasme et dictyosomes. Les produits de neurosécrétion sont séquestrés dans des vésicules et peuvent être plus ou moins transparents aux électrons. Les vésicules sont généralement globuleuses, parfois ovoïdes, leur diamètre varie de 100 à 300 nm. Le diamètre des vésicules est inférieur ou égal à 100 nm lorsque le produit de neurosécrétion est unique dans la vésicule et est de nature aminique. Le diamètre des vésicules est supérieur à 100 nm si celles-ci contiennent des peptides.

Glandes endocrines

Corpora cardiaca

Ce sont deux épaissements pyriformes de la paroi aortique allongés dorso-ventralement juste en arrière du cerveau. Les deux corpora cardiaca sont nettement distincts l'un de

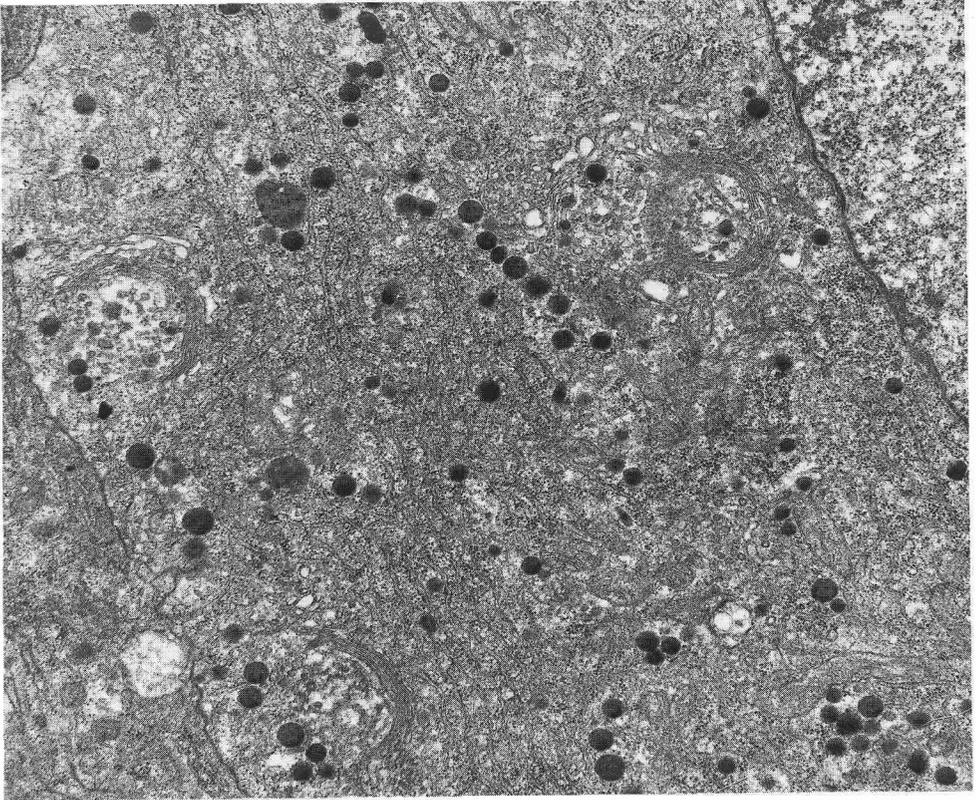


Figure 12. Coupe ultra-fine d'un corps cellulaire neurosécréteur de la pars intercerebralis. Important développement du réticulum rugueux et présence de nombreuses vésicules de neurosécrétion (x 13 000).

l'autre à leur extrémité dorsale, par contre, les extrémités ventrales se rejoignent et constituent le plancher du tube aortique.

Les corpora cardiaca sont constitués de 2 parties distinctes comme l'hypophyse : l'une glandulaire dorsale, l'autre nerveuse ventrale regroupant principalement les extrémités axoniques des cellules neurosécrétrices cérébrales.

Les corpora cardiaca glandulaires sont constitués de cellules assez volumineuses renfermant des vésicules de sécrétion de 300 nm de diamètre (fig. 14). Ces cellules présentent des prolongements ressemblant à des fibres et sont parfois considérées comme des cellules neurosécrétrices.

Entre ces cellules existent des fibres issues des cellules de la pars intercerebralis et des pars lateralis. Certaines de ces fibres renferment de petites vésicules (fig. 14, flèches) et appartiennent à des cellules aminergiques (octopaminergiques).

Corpora allata (figs. 13 et 14)

Ce sont deux petites masses fusiformes chez la larve (fig. 15) plus volumineuses et ellipsoïdales chez l'adulte (fig. 16) formées de cellules homogènes entourées d'une fine tunique conjonctive. Au pôle supérieur aboutit le nerf allato-cardiaque et au pôle inférieur le nerf provenant du ganglion sous-oesophagien (fig. 8). L'activité glandulaire est caractérisée par un développement important du réticulum endoplasmique lisse (fig. 18).

Glandes prothoraciques (fig. 15)

Ce sont deux rubans, présentant des renflements et rétrécissements variés, fixés par leur extrémité dorsale sur la boîte crânienne, reposant dans leur partie moyenne sur le tentorium (T) et ventralement sur la mandibule (Md).

Présentes chez les larves, elles disparaissent chez l'adulte grégaire. Contrairement aux cellules des corpora allata, les cellules des glandes prothoraciques (appelées aussi glandes ventrales) sont de forme très irrégulière et ont des noyaux de taille extrêmement variable (fig. 20). Les organites cellulaires ne sont pas très caractéristiques d'une production d'hormone lipidique qui est l'ecdysone, car le réticulum endoplasmique est peu développé (fig. 21).

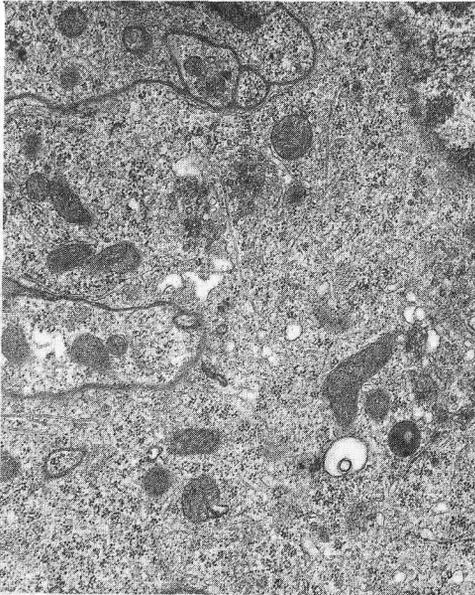


Figure 13. Coupe ultrafine de corpora allata larvaire. Pauvreté en réticulum lisse. (x 10 000).

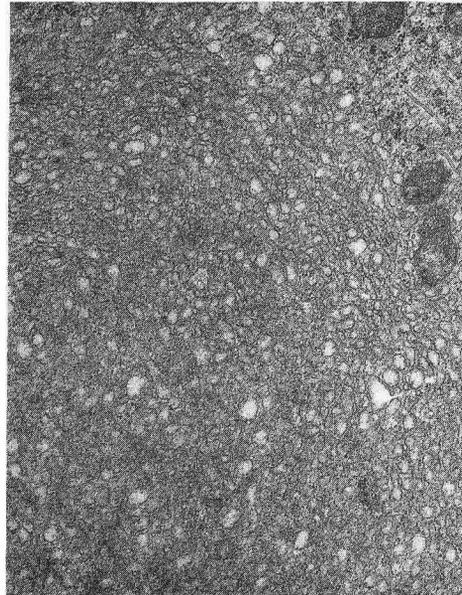


Figure 14. Coupe ultrafine de corpora allata. Adulte en vitellogénèse. Développement considérable du réticulum lisse. (x 10 000).

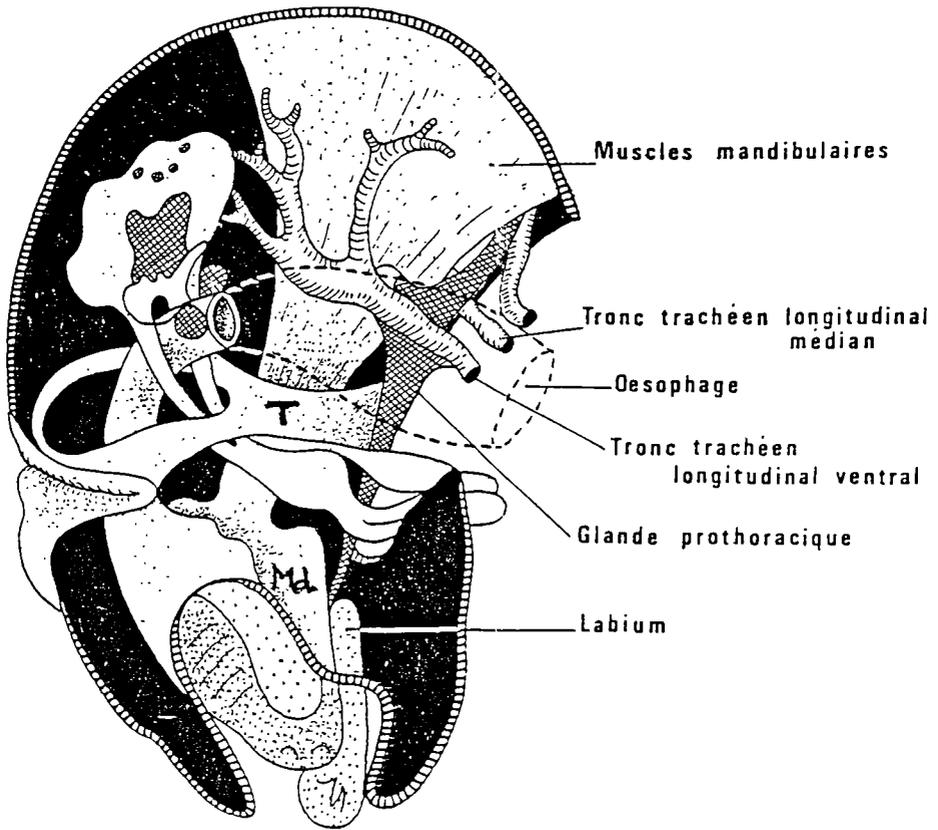


Figure 15. Coupe parasagittale de la tête montrant la position de la glande prothoracique. (Représentation schématique d'après M. Hirn 1978). Md = mandibule, T = tentorium.

Chimie des produits de sécrétion

Produits lipidiques

Ecdysons

C'est la première hormone d'insecte caractérisée par Karlson et coll (1965) et Huber et Hoppe (1965).

C'est un stéroïde commun à tous les insectes et même à tous les arthropodes.

Elle est produite par les cellules de la glande prothoracique. Elle contrôle la mue et les phénomènes de morphogénèse.

Hormone juvénile

Hormone caractérisée par Röller et coll. (1967). C'est un sesquiterpène qui existe sous au moins cinq formes selon les insectes. Seule la JH3 (trois radicaux identiques) est présente chez le criquet.

Elle est produite par des cellules de corpora allata. Elle est responsable de l'expression des caractères larvaires, contrôle la pigmentation verte et la maturation sexuelle.

Produits aminiques

L'utilisation de la chromatographie liquide à haute performance et les dosages radioenzymatiques ont permis de confirmer la production de plusieurs amines : dopamine, sérotonine, octopamine et acide «gamma»aminobutyrique (GABA).

Certains de ces amines semblent libérés dans l'hémolymphe et pourraient agir comme des hormones. Leur rôle est encore à l'étude.

Produits peptidiques

Actuellement six produits de neurosécrétion sont chimiquement caractérisés. Leurs séquences permettent de les classer en trois catégories en fonction des analogies qu'elles possèdent avec d'autres hormones de vertébrés ou de groupes d'invertébrés autres que les insectes.

Hormones analogues d'hormones d'Invertébrés

Les hormones adipocinétiques (AKH I et AKH II)

Elles présentent des analogies de séquence avec l'hormone de concentration des pigments rouges des crustacés (RPCH).

L'AKH I est la première hormone peptidique caractérisée chez les insectes :

pGlu-Leu-Asn-Phe-Thr-Pro-Asn-Trp-Gly-Thr NH₂

Criquet migrateur (Stone et coll. 1976)

Criquet pèlerin (Siegert et coll. 1985)

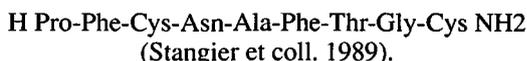
L'AKH II est différente chez les deux criquets :

Criquet migrateur pGlu-Leu-Asn-Phe-Ser-Ala-Gly-Trp NH₂

Criquet pèlerin pGlu-Leu-Asn-Phe-Ser-Thr-Gly-Trp NH₂
(Siegert et coll. 1985)

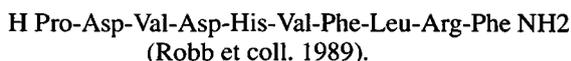
Les deux hormones sont produites par les cellules glandulaires des corpora cardiaca. Elles stimulent le métabolisme glucido-lipidique.

Peptide identique au peptide cardioaccélérateur des crustacés



Cette hormone a été isolée du système nerveux central du criquet migrateur. Elle stimule l'intensité et la fréquence des contractions de l'intestin.

Peptide apparenté au térapeptide cardioaccélérateur des mollusques (FMRFamide)

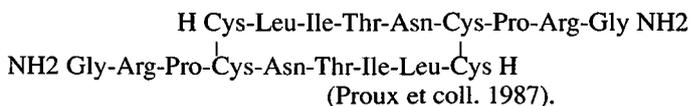


Cette hormone est produite par les deux cellules de type A du ganglion sous-oesophagien du criquet pèlerin. Elle agit sur le coeur de façon biphasique en le stimulant puis l'inhibant et potentialise les contractions du muscle extenseur du tibia.

Hormones analogues d'hormones de Vertébrés

L'hormone diurétique immunologiquement apparentée à la vasopressine (IDH AVP-like)

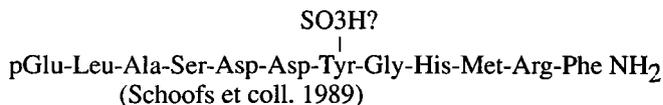
C'est un dimère antiparallèle dont le monomère présente de grandes analogies de séquence avec la vasotocine et la vasopressine.



Cette hormone est synthétisée par les deux cellules neurosécrétrices de type A du ganglion sous-oesophagien du criquet migrateur. Elle stimule l'excrétion de l'urine par les tubes de Malpighi.

Locustasulfakinine

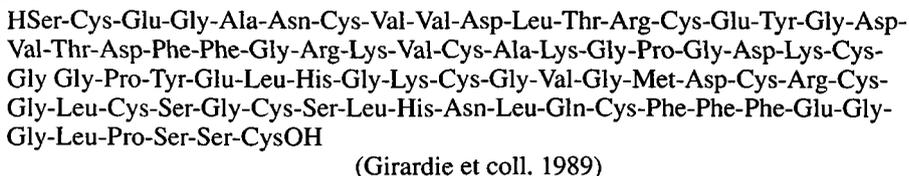
Elle présente des analogies de séquence avec la gastrine et la cholécystokinine.



Cette hormone a été isolée du cerveau et stimule les contractions de l'intestin.

Neuroparsine

Cette neurohormone ne présente pas d'analogie de séquence avec d'autres hormones séquencées. C'est un dimère dont le monomère comporte 78 acides aminés dont 12 cystéines.



Structure des glandes endocrines et chimie des hormones

Cette neurohormone est synthétisée par les cellules protocérébrales médianes de type A1. Elle stimule le métabolisme glucidolipidique, la réabsorption de l'eau par le rectum et s'oppose aux effets chromatotrope, juvénilisant et gonadotrope de l'hormone juvénile.

8

Régulation endocrinienne du développement, de la reproduction et du polymorphisme phasaire.

A. GIRARDIE

Laboratoire de Neuroendocrinologie, URA CNRS 1138, Université de Bordeaux I, Avenue des Facultés, 33405 Talence Cedex, France

Le polymorphisme phasaire des criquets grégarisables présente des différences physiologiques dont certaines suggèrent un déterminisme endocrinien. La phase solitaire se caractérise par une forte teneur en hormone juvénile (JH), par un stade larvaire surnuméraire, par une pigmentation verte, par la pérennité de la glande de mue chez l'adulte, par une vie imaginale plus longue, par une fertilité et un rythme cardiaques élevés. Les grégaires se distinguent par une forte consommation d'oxygène, par des marches et des vols soutenus, par un développement larvaire plus rapide, par une tendance à la diapause imaginale et par une pigmentation sombre.

Système ecdystéroïde

L'ecdysone ou hormone de mue est produite par les glandes de mue (PTG) chez la larve (mues larvaires et imaginale) et par les cellules folliculaires des ovaires chez l'adulte (développement embryonnaire). Les PTG dégénèrent à la fin de la vie larvaire chez les criquets grégaires alors qu'elles se maintiennent toute la vie chez les solitaires.

Synthèse de l'ecdysone

Le cholestérol est le précurseur indispensable de l'ecdysone. L'insecte est incapable de le synthétiser (pas de squalène synthétase) d'où nécessité de l'apporter dans le régime ali-

mentaire. Le cholestérol ingéré et assimilé se lie à une protéine hémolympatique et c'est ce complexe cholestérol-protéine qui est incorporé par pinocytose par les PTG qui assurent l'ecdysiogenèse.

L'ecdysone est libérée dans l'hémolymphe où elle se transforme en 20-0H-ecdysone sous l'action d'une hydrolase du corps gras, de l'intestin moyen, des tubes de Malpighi et du tégument. Le transport hémolympatique des ecdystéroïdes est assuré par une protéine porteuse de 280 KD.

La cinétique de l'ecdysone circulante présente 2 pics : un petit pic au début du stade et un grand pic dans la 2^e moitié du stade.

Régulation de l'ecdysiogenèse

La production d'ecdysone par les PTG dépend de plusieurs facteurs.

Autonomie des PTG

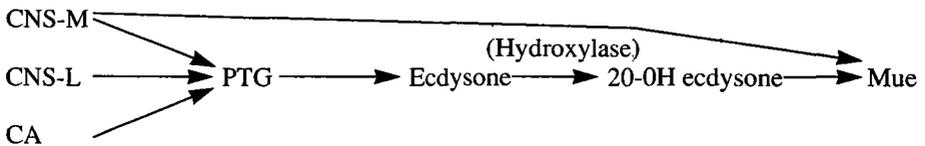
En culture et en l'absence de facteurs prothoracotropes exogènes, les PTG sécrètent de l'ecdysone suggérant une certaine autonomie des glandes de mue.

PTTH cérébrale

Le cerveau, par ses cellules neurosécrétrices médianes (CNS-M) et latérales (CNS-L), produit un (ou des) facteur prothoracotrope (PTTH) qui stimule la sécrétion d'ecdysone par les PTG. De plus, les CNS-M élaborent une neurohormone responsable de l'exuviation (rejet de l'ancienne cuticule). Les types de cellules neurosécrétrices prothoracotropes et d'exuviation ne sont pas encore connus.

JH

L'ecdysiogenèse des PTG *in vitro* est stimulée par l'addition de JH au milieu de culture. La JH aurait donc une fonction prothoracotrope.



FCTH

Chez la femelle adulte à la fin de la vitellogenèse, les cellules folliculaires élaborent le chorion de nature protéique et de l'ecdysone qui est un stéroïde. Ces biosynthèses folliculaires dépendent d'une neurohormone de la pars intercerebralis, la Follicle Cell Tropic Hormone (FCTH).



Dégradation et inactivation de l'ecdysone

La demi-vie de l'ecdysone est de 1 heure. Sa dégradation et son inactivation se font par oxydation, hydroxylation, isomérisation et conjugaison avec des sulfates ou de l'acide glucoronique ou des sucres. Les produits de conjugaison peuvent représenter des forme de réserve ou de dégradation ou d'inactivation.

Rôles physiologiques

Mue

Le premier pic d'ecdysone circulante est constitué essentiellement d'ecdysone. Il est responsable de la crise mitotique des cellules épidermiques conduisant à l'apolyse (décollement cuticulaire). Le 2^e pic, plus important, contient surtout de la 20-OH ecdysone ; il est responsable de la synthèse de la nouvelle cuticule.

La chute d'ecdystéroïdes circulants entre les 2 pics est nécessaire à la mue. L'injection d'ecdysone à cette période empêche la réabsorption du liquide exuvial d'où retard et même suppression de la mue.

Développement embryonnaire

Chez la femelle adulte, l'ecdysone ovarienne passe dans les ovocytes sous forme de conjugués. Dans l'oeuf, les conjugués sont hydrolysés au cours du développement embryonnaire pour redonner de l'ecdysone responsable de la réinitiation méiotique et des mues embryonnaires.

Polymorphisme phasaire

Certains auteurs (Carlisle et Ellis) ont envisagé que les PTG agiraient sur 2 caractères phasaires : pigmentation et activité locomotrice des grégaires. Leurs résultats n'ont pas été confirmés par des injections d'ecdysone.

Le système hormone juvénile

Chez le criquet, l'hormone juvénile est de la JH-3 en C16. Chez la larve et l'adulte, elle est introduite uniquement par les corpora allata (CA). Chez l'embryon, l'enveloppe séreuse est une source de JH.

Chez la larve, elle empêche la métamorphose (action inhibitrice) : à la fin de la vie larvaire, peu à pas de JH circulante d'où mue de métamorphose imaginale. Chez l'adulte, elle stimule la fonction gonadotrope (action stimulatrice de la vitellogenèse et de l'activité des glandes accessoires mâles).

Biosynthèse de la JH

Le précurseur de la JH est l'acétyl CoA provenant du catabolisme des glucides, lipides et protéines. La biosynthèse de la JH est évaluée par un dosage radiochimique qui n'a pas permis de saisir une baisse d'activité des CA au dernier stade larvaire. C'est donc la dégradation de la JH qui doit débarrasser l'hémolymphe de sa JH pour permettre la métamorphose.

Chez la femelle adulte, il y a un petit pic d'activité en relation avec la prévitellogenèse, et un grand pic à la vitellogenèse. Chez le mâle adulte, le profil d'activité est régulier avec un léger pic au moment où apparaissent les accouplements et la formation des spermatozoïdes.

Les CA ont une activité pulsatile et présentent un fonctionnement asymétrique. Le gauche a une activité de biosynthèse différente de celle du droit interdisant de prendre un CA comme témoin de l'autre.

Régulation de la teneur en JH circulante

La teneur hémolympatique en JH dépend de la biosynthèse de l'hormone, de sa fixation tissulaire, de sa dégradation et de son excrétion.

Contrôle de la biosynthèse de la JH

Les CNS-M et CNS-L du cerveau produisent des facteurs allatostimulateurs et peut-être allatoinhibiteurs qui régulent la biosynthèse de la JH.

L'ovaire contrôlerait les variations d'activité des CA au cours du cycle ovocytaire. En fin de vitellogenèse, l'ovaire élabore un facteur allatoinhibiteur qui fait chuter la biosynthèse de JH au moment de la choriogenèse.

Dégradation de la JH

Chez le criquet migrateur, la JH circulante est associée à une protéine porteuse de 556 KD, la JHBP qui rend l'hormone soluble dans l'hémolymphe, la protège contre les enzymes de dégradation et empêche sa fixation non spécifique sur les tissus.

La demi-vie de la JH hémolympatique est de deux heures. Sa dégradation est assurée par des estérases conduisant à la JH acide, et par des hydrolases donnant de la JH diol.

Anti-JH

La neuroparsine, neurohormone produite par les CNS-M de type A1, a une fonction anti-JH qui pourrait s'exprimer en augmentant la production des enzymes de dégradation de la JH.

Les précocènes I et II, qui sont des chronèmes simples isolés des plantes du genre *Ageratum*, induisent des métamorphoses anticipées et stérilisent les femelles adultes des insectes hétérométaboles dont le criquet. Les effets des précocènes sont dus à une dégénérescence des CA (allatectomie chimique). La forte activité époxydasique des CA métabolise le précocène en une substance cytotoxique (3,4 époxyprécocène) pour les CA.

On connaît tout un ensemble de molécules (fluoromévalonate, compactine, mévinoline, ETP...) qui inhibent la biosynthèse de la JH en se substituant à des substrats naturels de la voie de biosynthèse de l'hormone. La plupart de ces molécules viennent d'être retirées du commerce car elles sont cancérigènes.

Rôles physiologiques de la JH

Hormone du statu quo

Chez le criquet, toute mue qui se prépare avec de la JH sera larvaire; s'il y a peu de JH, la mue donnera un adulte imparfait; sans JH, il y a mue imaginale parfaite.

La JH empêche la programmation des caractères imaginaires en maintenant les caractères larvaires. Elle inhibe les synthèses d'ARNm responsables des caractères imaginaires. C'est l'hormone du *statu quo* qui empêche le développement de nouvelles séquences de synthèse. Elle favorise la répétition des synthèses du stade précédent.

Fonctions gonadotropes

Chez la femelle adulte, la JH est une hormone gonadotrope polytrophique. Elle est responsable de la maturation du corps gras : les adipocytes s'appauvrissent en lipides, deviennent polyploïdes et présentent une intense protéosynthèse dont celle de la vitellogénine (Vg). Elle contrôle l'incorporation de la Vg dans les ovocytes en induisant le développement des microvillosités apicales des cellules folliculaires (accroissement de la surface d'échange), en augmentant les espaces entre les cellules folliculaires et les ovocytes, et en provoquant la capture de la Vg par pinocytose. Elle modifie les propriétés physico-chimiques des membranes intersegmentaires qui deviennent plus souples facilitant ainsi l'allongement abdominal au moment de la ponte.

Chez le mâle, la spermatogenèse est indépendante de la JH. Mais l'hormone induit la production de la phéromone mâle et stimule l'activité des glandes accessoires mâles (production des spermatophores).

Chez la larve du dernier stade, la déficience en JH provoque, d'une part la différenciation des cellules glandulaires épidermiques qui produisent la phéromone gonadotrope mâle chez le criquet migrateur, et d'autre part la programmation de la métamorphose qui correspond à une véritable puberté des deux sexes rendant la sphère génitale sensible aux hormones gonadotropes.

Fonction chromatotrope

La JH induit le verdissement tégumentaire par synthèse des ommochromes épidermiques. C'est la teneur élevée en JH qui produit le verdissement des solitaires.

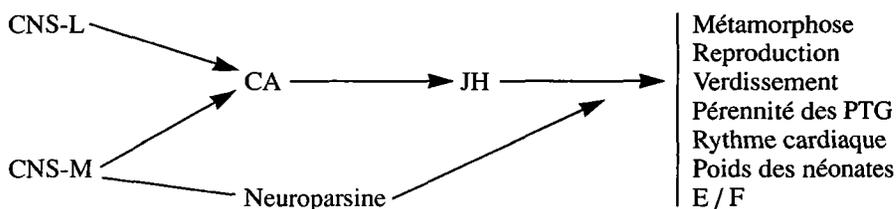
Les grégaires mâles de *Locusta* et des 2 sexes de *Schistocerca* deviennent jaunes à la maturité sexuelle. Ce jaunissement tégumentaire est étroitement lié à la JH : l'allactomie empêche le jaunissement qui est rétabli par une implantation de CA ou une injection de JH. Par contre, les solitaires ne jaunissent pas, bien que leur teneur en JH soit élevée. Il faut donc admettre que des stimuli exercés par la vie de groupe rendent le tégument apte à jaunir sous l'action de la JH chez les grégaires.

Rythme cardiaque

Le rythme cardiaque est accéléré après implantation de CA ou injection de JH, et diminué par allatectomie. L'hormone aurait donc une fonction myotrope dont on ignore encore le mode d'action.

Polymorphisme phasaire

Certains caractères solitaires sont dus à une teneur en JH circulante plus élevée : persistance des PTG, un stade larvaire supplémentaire, forte fertilité, verdissement, rythme cardiaque élevé, faible poids des néonates, et le rapport E/F (longueur de l'élytre / la longueur du fémur métathoracique) plus faible.



JH et polymorphisme phasaire chez le criquet migrateur

Métabolisme énergétique

Les criquets grégarisables peuvent effectuer de longs vols pendant lesquels ils puisent dans leurs réserves glucidiques et surtout lipidiques l'énergie nécessaire à cette activité musculaire soutenue.

Les sucres sont stockés dans les corps gras sous forme de glycogène (réserve tissulaire) et sont transportés dans le sang sous forme de tréhalose (réserve circulante). Les lipides sont immobilisés dans les corps gras sous forme de triglycérides alors que la forme circulante est représentée par des diglycérides qui constituent le principal combustible pour les muscles du vol en activité soutenue du criquet. La tréhalosémie et la lipémie sont sous le contrôle d'hormones hyper et hypotréhalosémiantes, hyper et hypolipémiantes (figs. 1 et 2).

Hormones hypertréhalosémiantes et hyperlipémiantes

AKH : pGlu-Leu-Asn-Phe-Thr-Pro-Asn-Trp-Gly-ThrNH₂ (AKH-I locusta)

L'AKH (hormone adipocinétique), produite par les cellules glandulaires des corpora cardiaca, a une activité hypertréhalosémiante et hyperlipémiante en agissant sur la phosphorilase et la lipase du corps gras via l'AMPc et Ca⁺⁺. Elle favorise aussi l'utilisation des diglycérides par oxydation des acides gras au niveau des muscles alaires. L'AKH appar-

Régulation endocrinienne

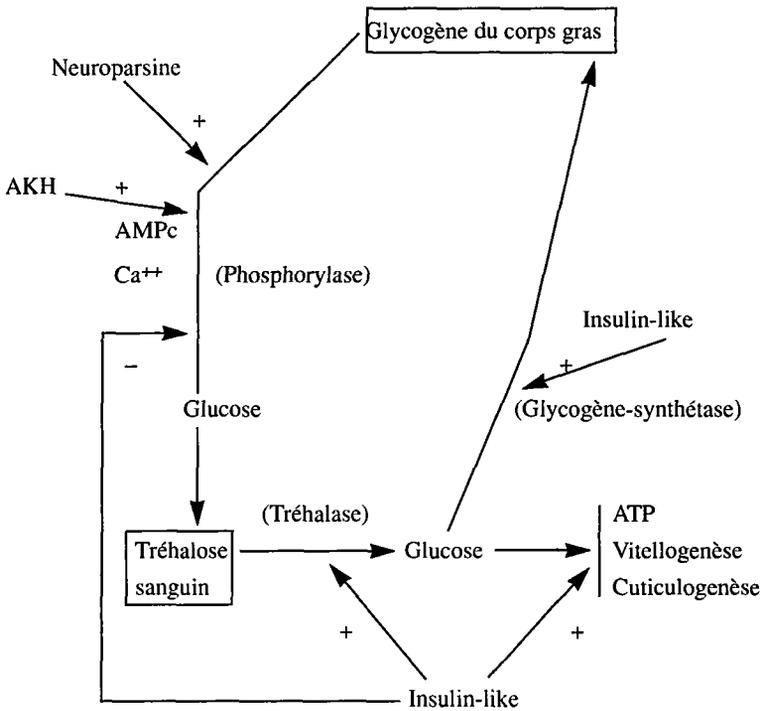


Figure 1. Contrôle endocrine de la tréhalosémie du criquet migrateur

tient à une famille de neuropeptides des arthropodes qui ont des structures très voisines et des fonctions semblables (hypertréhalosémiantes chez le criquet, hypolipémiantes chez la blatte, myotropes chez le phasme et concentration des pigments rouges chez la crevette).

La libération de l'AKH dépend de la tréhalosémie. Au cours du vol ou du jeûne, la baisse du tréhalose circulant stimule des CNS-L octopaminergiques dont les terminaisons situées dans les lobes glandulaires des corpora cardiaca commandent la libération de l'AKH. Chez le criquet au repos, la teneur élevée en tréhalose inhibe les neurones octopaminergiques d'où blocage de la libération de l'AKH.

Neuroparsine

La neuroparsine (neurohormone de la pars intercerebralis) est aussi hypertréhalosémiante et hyperlipémiante chez le criquet. Les effets sont plus rapides, plus fugaces et moins importants que ceux de l'AKH.

Hormones hypotréhalosémiantes et hypolipémiantes

Du matériel apparenté immunologiquement à de l'insuline est produit par la pars intercerebralis et l'intestin du criquet. Le facteur insulino-semblable est hypotréhalosémiant et

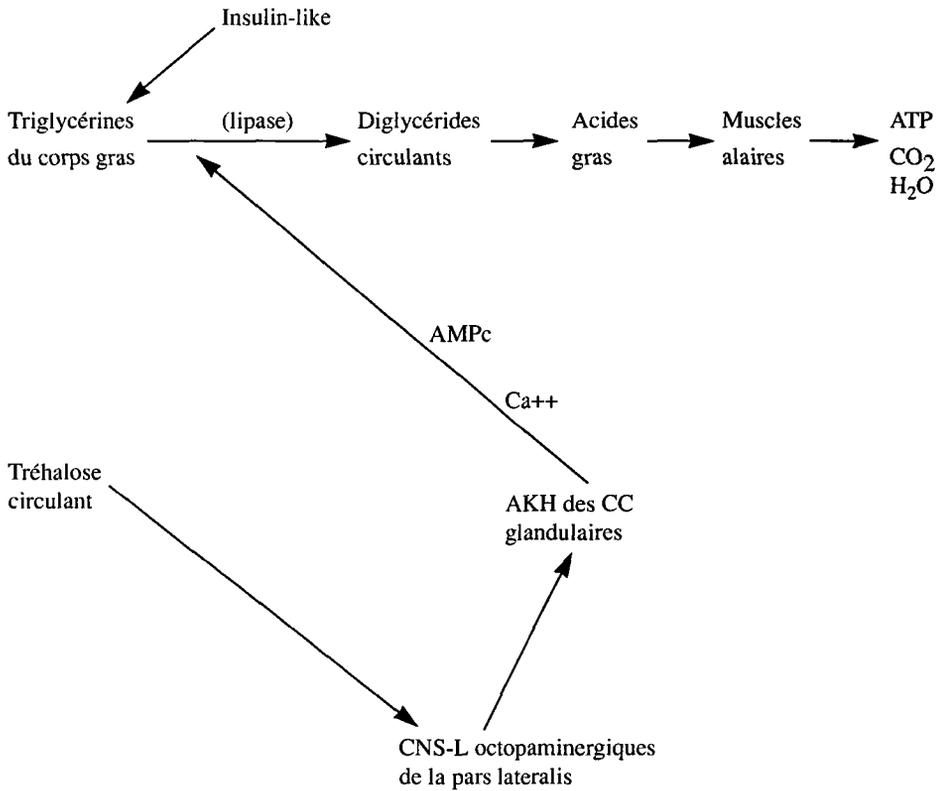


Figure 2. Contrôle endocrine de la lipémie chez le criquet migrateur

hypolipémiant. Il diminue la tréhalosémie du criquet migrateur en favorisant l'utilisation tissulaire du glucose, en stimulant la capture du glucose par les muscles et en augmentant la synthèse du glycogène dans le corps gras. L'effet hypolipémiant s'exprime par une augmentation de la synthèse des triglycérides dans le corps gras.

Neuropeptides myotropes

Les criquets grégaires manifestent une intense activité locomotrice (marches, vols). Les organes de la vie végétative peuvent présenter une mobilité spontanée élevée (notamment celles du coeur et de l'intestin). Les mécanismes contrôlant ces activités font souvent intervenir des neuropeptides.

Proctoline : Hang-Tyr-Leu-Pro-Tro

La proctoline est une pentapeptide (HArg-Tyr-Leu-Pro-TrOH) du système nerveux des insectes qui a un effet myotrope sur le coeur, l'intestin et l'oviducte. Elle agit aussi sur des muscles squelettiques ayant une action comparable à celle de la sérotonine. Ainsi, la proctoline stimule la contraction des muscles extenseurs du tibia du criquet. Elle est plutôt considérée comme neuromodulateur et neurotransmetteur (récepteurs post-synaptiques).

SchistoFLRFamide : Hlro-Asp-Val-Asp-Hio-Val-Phe-Leu-Arg-Phe NH₂

Chez le criquet pèlerin (*Schistocerca gregaria*) un membre de la famille des FMRFamides (peptides cardioaccélérateurs des mollusques) a été isolé, le FLRFamide. *In vitro*, il a une action biphasique sur le coeur du criquet, d'abord cardioaccélérateur puis cardioinhibiteur. Il augmente aussi la contraction des muscles extenseurs du tibia du criquet.

Peptide cardioaccélérateur des crustacés : Hpro-Phe-Cys-Asn-Ala-Phe-Thr-Gly-cys NH₂

Récemment, un neuropeptide myotrope a été isolé et séquencé du système nerveux du criquet migrateur. C'est le peptide cardioaccélérateur des crustacés (CCAP). C'est un autre exemple d'une famille de neuropeptides chez les arthropodes. Chez le criquet, il a une activité myotrope sur l'intestin.

Conclusion

Les effets de groupe, les effets de masse et les facteurs abiotiques seraient les causes primaires du polymorphisme phasaire des criquets grégaires. Quelques unes de ces informations seraient perçues et intégrées par le système nerveux qui en réponse induirait le développement de certains caractères phasaires. L'action du système nerveux est indirecte en régulant l'activité des glandes endocrines, en particulier celle des CA qui contrôlèrent des caractères phasaires. Le cerveau peut aussi agir directement par ses CNS-M qui produisent un facteur assombrissant (peut-être la dopamine) responsable de la pigmentation sombre des grégaires. Cependant, il n'est pas possible d'expliquer tout le polymorphisme phasaire par une simple différence d'activité hormonale entre les deux phases. En effet, de nombreux caractères phasaires comme le rapport longueur du fémur métathoracique/largeur de la tête (F/C), la forme de la carène pronotale, le QR, l'inter-attraction des grégaires semblent échapper à toute régulation endocrinienne.

9

La régulation hormonale du métabolisme hydrique chez les criquets grégarisables

J. PROUX

Laboratoire de Neuroendocrinologie URA CNRS 1138, Université de Bordeaux I, Avenue des Facultés, 33405 Talence Cedex, France

Les criquets grégarisables comme tous les êtres vivants, ont besoin d'eau pour assurer leurs fonctions biologiques et pour chaque espèce existe un pourcentage d'eau corporelle optimum résultant d'un équilibre toujours instable entre les pertes et les gains.

Chez les criquets, les apports en eau sont principalement assurés par l'alimentation tandis que les pertes se répartissent entre l'excrétion (ou diurèse) et la transpiration. Du fait de leur caractère migrateur, les criquets vont séjourner au cours de leur vie dans des biotopes successifs dont la végétation et les conditions climatiques varient. Cette variabilité va entraîner celle des apports en eau ainsi que des pertes et il faudra qu'un mécanisme régulateur intervienne pour maintenir, autant que se peut, le pourcentage d'eau corporelle optimum, garant d'un bon état physiologique.

L'importance de cette régulation du métabolisme hydrique dépasse le maintien d'une hydratation corporelle quand on considère qu'elle pourrait intervenir sur le polymorphisme.

La transpiration

On entend par transpiration les pertes en eau par les spiracles et à travers la cuticule (respectivement 33% et 66% de la transpiration totale). Bien qu'importante (entre 70 et 260 mg/g/minute selon les criquets), cette perte en eau est indispensable puisque les animaux meurent quand on l'empêche. Elle dépend de la température (stable jusqu'à 50°C, elle

augmente ensuite de façon exponentielle) mais est peu influencée par des modifications de régime alimentaire et donc d'apport en eau (fig. 1).

La diurèse

Principale voie de l'élimination de l'eau corporelle elle est assurée par deux organes : les tubes de Malpighi et le rectum dont les fonctionnements sont modulés par des facteurs hormonaux.

Les organes de la diurèse (fig. 2)

Les tubes de Malpighi excrètent l'urine primaire dans laquelle se concentrent des anions et cations inorganiques : K^+ , Na^+ , Cl^- ... ou organiques : acide hippurique, sulfones et alcaloïdes. Cette urine se déverse dans le tube digestif entre les intestins moyen et posté-

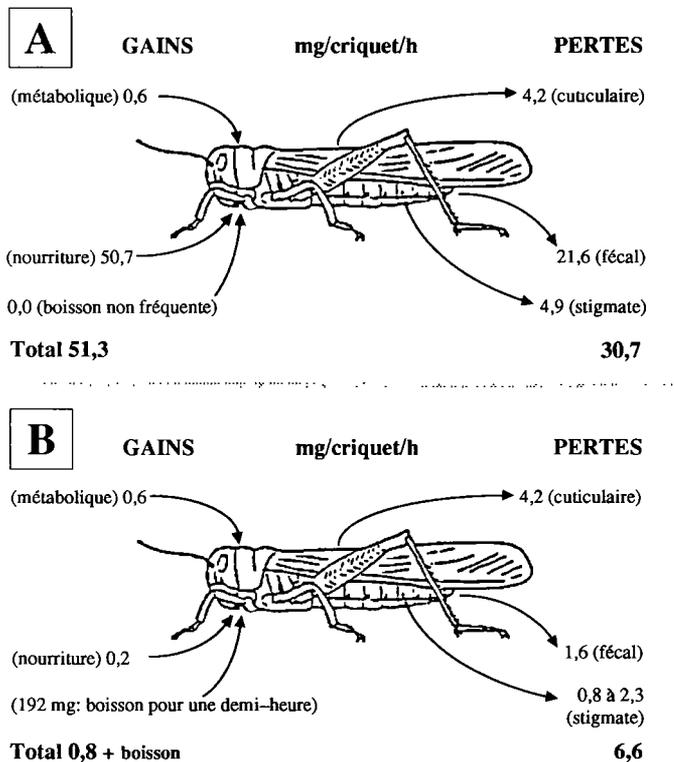


Figure 1. Equilibre hydrique de criquets recevant une nourriture normalement hydratée (A) ou déshydratée (B). (D'après J. P. Loveridge, 1975).

La régulation hormonale du métabolisme hydrique

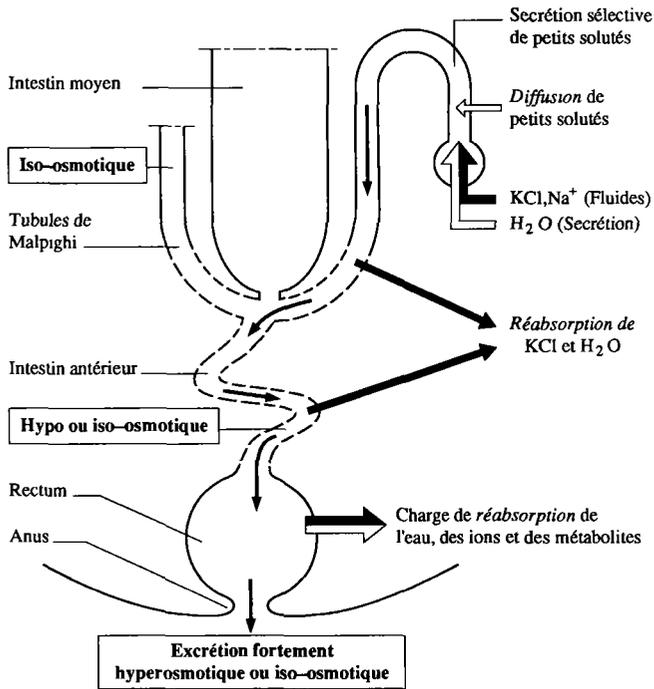


Figure 2. Système excréteur d'insecte avec les principaux transports épithéliaux et les modifications osmotiques urinaires. (D'après J. E. Phillips, 1983).

rieur et se mêle aux produits de la digestion. Au niveau du rectum, une partie de l'eau et de certains anions et cations contenus dans les excréments est réabsorbée avant que ceux-ci ne soient évacués à l'extérieur par l'anus.

Les hormones diurétiques et antidiurétiques

Deux types d'hormones agissant sur le métabolisme hydrique des criquets ont été mises en évidence. Des hormones diurétiques (HD) favorisant l'excrétion de l'urine primaire par les tubes de Malpighi et des hormones antidiurétiques (HAD) augmentant la réabsorption d'eau et de certains ions au niveau rectal.

Les hormones diurétiques

L'hormone diurétique cérébrale

Sa présence a été rapportée dans la partie nerveuse des corpora cardiaca, elle serait donc d'origine cérébrale. Elle augmente l'excrétion de tubes de Malpighi isolés ou semi-isolés

(laissés en présence de la chaîne nerveuse ventrale et du tube digestif). Sa nature peptidique a été évoquée mais son isolement n'a pu, pour le moment, être mené à bien.

L'hormone diurétique apparentée à la vasopressine (AVP) des mammifères

L'AVP-like Insect Diuretic Hormone est un dimère (Dm) synthétisé par deux cellules du ganglion sous-oesophagien (GSO) du criquet migrateur (voir exposé de J. Girardie) et libéré dans l'hémolymphe. Elle est accompagnée de son monomère (Mm) et il est vraisemblable que c'est ce monomère qui est synthétisé puis transformé en dimère selon un processus enzymatique. L'importance quantitative de cette transformation dépend des besoins de l'insecte en hormone diurétique. Quand ces besoins sont grands (hydratation forcée), il y a beaucoup de dimères et peu de monomères, quand ils sont faibles (conditions de sécheresse), la proportion est inversée. La libération de l'hormone diurétique est sous la dépendance de deux facteurs d'origine cérébrale et agissant de façon antagoniste puisque un, issu de la pars intercerebralis (PI), l'inhibe tandis qu'un autre, issu des cellules neurosécrétrices sous-ocellaires médianes (CNS-SOM), la favorise. Une fois libérée l'hormone va être transportée jusqu'aux tubes de Malpighi. Du fait de sa nature protidique, elle ne peut pénétrer dans les cellules et le message qu'elle transporte va être relayé par un second messenger : l'AMP cyclique. Le résultat final sera une augmentation de l'excrétion de l'urine primaire. Sa demi-vie est d'environ 20 minutes. Une fois utilisée, l'hormone diurétique sera dégradée selon un processus enzymatique, là aussi. L'ensemble de ces événements est résumé dans la figure 3.

Cette hormone diurétique ayant été totalement caractérisée, elle est maintenant disponible sous forme synthétique, les résultats obtenus avec ce produit de synthèse sont en tous points comparables à ceux observés avec l'hormone naturelle.

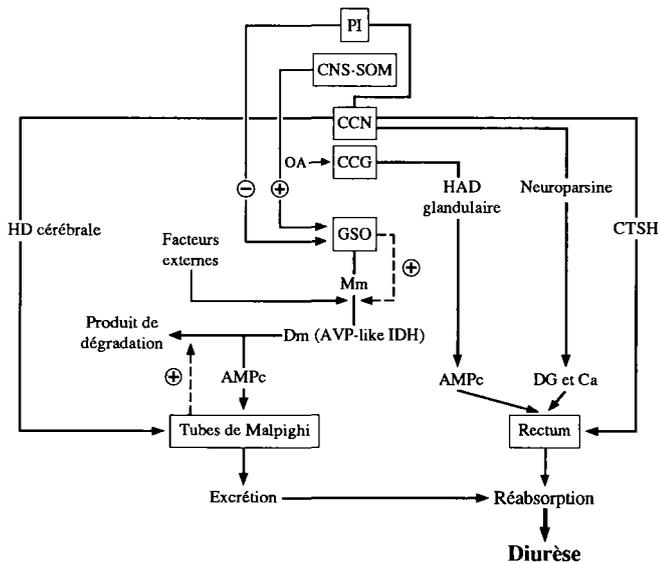


Figure 3. Schéma général de la régulation hormonale de la diurèse chez le criquet migrateur.

Les hormones antidiurétiques

La neuroparsine (NP)

Cette hormone d'origine cérébrale, qui intervient également dans le métabolisme énergétique et le polymorphisme phasaire (voir exposé de A. Girardie), joue un rôle antidiurétique au niveau rectal en favorisant une réabsorption partielle de l'eau du bol alimentaire. Le signal qu'elle génère est transporté à l'intérieur des cellules rectales par deux seconds messagers : le calcium (Ca^{++}) et le diacylglycérol (DG). Il faut noter que l'AMP cyclique n'est pas impliqué.

La "Chloride Transport Stimulating Hormone" (CTSH)

Elle a été mise en évidence chez le criquet pélerin. Elle est également d'origine cérébrale et favorise, au niveau rectal, la réabsorption de chlore et d'eau (celle de chlore étant le transport actif, l'eau suivant de façon passive).

L'hormone antidiurétique

Elle est issue de la partie glandulaire des corpora cardiaca et agit également au niveau rectal en favorisant la réabsorption hydrique. Sa libération, comme celle de l'AKH (voir exposé de A. Girardie), est contrôlée par l'octopamine (OA) des CNS-L du cerveau. En effet :

- 1) cette hormone est libérée par des extraits de CNS-L ou par de l'octopamine,
- 2) l'octopamine perd cette capacité de libération quand elle est associée à la phentolamine : un bloquant des récepteurs octopaminergiques.

Ce contrôle de la libération de deux hormones par le même système aminergique est physiologiquement justifié. A la fourniture d'énergie due à l'AKH s'ajouterait une économie d'eau, deux facteurs susceptibles de prolonger la durée du vol.

Comparaison avec l'excrétion chez les vertébrés

Les mêmes principes généraux (production d'une urine primaire iso osmotique transformée en urine définitive par réabsorption sélective d'eau, d'ions et de métabolites) sont applicables aux systèmes excréteurs des vertébrés et des insectes, mais là s'arrête la comparaison.

Le rein de la majorité des vertébrés fonctionne sur un principe de filtration-réabsorption dans lequel la filtration qui produit l'urine primaire est intense, due à la pression sanguine, et peu sélective. Une récupération par réabsorption de nombreux composés utiles est nécessaire mais consomme beaucoup d'énergie. Cette non-sélectivité a un avantage adaptatif puisque lorsqu'un organisme absorbe de nouvelles substances toxiques (et qu'il doit donc éliminer), il peut le faire sans modifier son système excréteur, puisque celui-ci est capable d'éliminer presque n'importe quoi. Cela donne à l'organisme de grandes possibilités d'explorer de nouveaux biotopes.

Le système excréteur des insectes est, lui, basé sur une excrétion tubulaire suivie d'une réabsorption rectale. Le système fonctionne lentement et les solutés excrétés sont en majorité de petite taille. L'avantage de ce système est qu'il consomme peu d'énergie, son inconvénient est la nécessité de développer de nouveaux mécanismes excréteurs chaque

fois que l'animal ingère de nouvelles substances potentiellement dangereuses. Selon toute apparence, les insectes ont surmonté ce problème puisqu'ils sont capables d'excréter des substances toxiques de façon plus efficace que les vertébrés, notamment les alkaloïdes. Ces alkaloïdes étant considérés comme des mesures de protection contre les herbivores, leur grande capacité à les excréter permet aux insectes de coloniser une immense variété de niches écologiques.

10

Polymorphisme phasaire des criquets migrateurs : déterminismes et différences géographiques

S. FUZEAU-BRAESCH

*Université de Paris-sud, Laboratoire de biologie de l'insecte, Bat. 440-443,
91405 Orsay Cedex, France*

Après avoir passé en revue les principales composantes objectives du polymorphisme de phase acridien et les moyens de leur mise en évidence, l'exposé portera sur les déterminismes intimes de ces phénomènes pour se terminer sur le problème peu connu des variations géographiques des différences analysées.

L'ensemble repose sur des travaux réalisés à l'Université de Paris-Sud par les chercheurs suivants : Fuzeau-Braesch S., Jullien R., Khouadjia D., Nicolas G., Papin C., Rédouane K.

Le criquet *Locusta migratoria* est notre principal animal d'expérimentation, mais la plupart des résultats peuvent être extrapolés à *Schistocerca gregaria*.

Les moyens de mise en évidence du polymorphisme phasaire

Dans l'exposé de la plus grande partie de ce problème, il sera fait état de criquets grégaires élevés en groupe dense, en cage; de criquets solitaires isolés dès la naissance, et de criquets traités au CO₂ durant une minute par jour que nos recherches ont montré être intermédiaires et fortement solitarisés – tout ceci dans des salles spéciales, le grégarium et le solitarium ventilés et à températures et photopériodes contrôlées.

Morphométrie

La morphométrie est le moyen le plus direct et le plus aisé pour déterminer le statut phasaire d'un criquet. De nos expériences, il ressort que la seule mensuration de 4 paramètres classiques en acridologie (Zolotarevsky) est pratique et suffisante. Ce sont : le fémur (F), l'élytre (E), la capsule céphalique (C) et le pronotum (P).

Des analyses classiques, manuelles, permettent de montrer l'efficacité des rapports E/F; F/C/, et P/C et des combinaisons entre eux ainsi que du dimorphisme sexuel.

Des analyses multivariées sur ordinateur sont réalisables : analyse en composantes principales – analyse factorielle des correspondances – analyse discriminante, permettant de situer la position phasaire et les actions des conditions climatiques.

Comportement

Le comportement est évidemment un élément fondamental de la transformation phasaire.

L'activité locomotrice est analysable par un simple système d'actographie à enregistrement automatique. Les différents états phasaires possèdent un profil général de motilité comparable mais les quantités d'activités sont beaucoup plus fortes chez les animaux grégaires.

La tendance à l'agrégation est l'une des composantes les plus importantes sur le terrain : on l'analyse au laboratoire par observations statistiques d'animaux placés dans une arène dont on dénombre des groupes formés et leur densité. Les criquets grégaires ont une tendance à l'agrégation nettement plus intense, les solitaires s'éloignent davantage l'un de l'autre.

Fécondité

L'importance de la descendance de criquets solitaires ou en bandes migratrices est évidemment un élément à tester.

La littérature acridologique fait état de 3 paramètres : délai de maturation sexuelle – nombre d'œufs par oothèque – poids moyen des larves nouveau-nées. En général, le nombre d'œufs par oothèque est inférieur chez les grégaires par rapport aux solitaires et le poids moyen des larves néonates supérieur. En fait ces résultats intéressants par leur cohérence logique (= feed-back de reproduction, permanence d'une quantité de substance dans les œufs d'une oothèque) ne sont pas confirmés dans tous les travaux, nous avons des souches qui ne suivent pas ces règles. Les phénomènes ne sont pas aussi simples qu'on le croyait.

Des exemples de modifications phasaires fines

La composition des cuticules : étudiés en spectrométrie de masse, les esters aliphatiques des cires cuticulaires ont une composition variable. Plus lourds chez les solitaires avec une majorité de produits en C₁₈, tandis que les grégaires synthétisent en majorité des compo-

sés en C₁₆. De même pour les hydrocarbures : il existe une tendance générale à la synthèse d'hydrocarbures plus condensés chez les solitaires par rapport aux grégaires.

La sensibilité aux insecticides varie avec la phase : les grégaires peuvent être plus sensibles au lindane par exemple, en relation avec leur constitution biochimique (glutathion).

On peut rapporter ces résultats à ceux obtenus chez un grillon élevé soit en groupe, soit en isolement et à qui l'on fait ingérer un élément radioactif (Chrome ⁵¹). La «période biologique» au sein du corps entier de l'insecte est nettement affectée : les groupés montrent une période 3 fois plus lente que les isolés, ce qui peut permettre une utilisation plus importante d'éléments introduits dans le métabolisme et prouve une modification des turn-overs. Peu de travaux ont été faits dans ce domaine.

Variabilité des polymorphismes phasaires

Malgré ces descriptions caractéristiques, il ne faut pas voir les modifications phasaires comme fixes et insensibles aux facteurs de l'environnement. En réalité, la vie en groupe ou en isolement déplace les réponses aux autres facteurs, même les plus subtils.

Considérons l'exemple de la pigmentation : elle est bien connue comme caractère phasaire. On rappelle que la livrée globale d'un criquet résulte de la modification de 2 structures contenant les éléments pigmentés : la cuticule et l'hypoderme sous-jacent. L'isolement est généralement associé au verdissement. Mais au laboratoire, par 6 expériences distinctes datées d'époques différentes pendant plusieurs années, soit en isolement, soit en groupement (ou encore en traitement par le CO₂) d'une même souche, nous avons montré la variabilité des réponses respectives se traduisant par des déplacements relatifs des pourcentages d'insectes verts. Le même phénomène de modification relative est mis en évidence aussi par la comparaison de 11 expériences successives en condition grégaire comparée au résultat de 11 traitements au CO₂ pendant les mêmes générations. Des fluctuations s'observent de façon qui paraît aléatoire sans que s'efface la composante phasaire dominante.

La même variabilité des polymorphismes est repérable dans le domaine de la morphogénèse. Il est donc correct d'évoquer la dominante phasaire des modifications en même temps que le déplacement relatif de celles-ci sous l'effet de conditions ambiantes.

Qu'est-ce que le polymorphisme phasaire ?

Sachant bien caractériser les importantes différences morphologiques, comportementales et physiologiques liées à la vie en groupe ou en isolement, il convient d'aborder le problème de l'origine de ces différences.

Il est notoirement connu que l'origine de la différenciation phasaire réside dans la réception de stimuli réciproques entre les individus.

Nos résultats apportent des précisions dans les domaines ci-dessous.

Physiologie sensorielle

Par étude électrorétinographique, on montre que l'œil du grégaire et du solitaire fonctionnent différemment : par exemple, les amplitudes des réponses associées à l'allumage d'une lampe au temps zéro chez des larves grégaires ou solitaires sont distinctes.

Nous avons vu plus haut qu'un traitement au CO₂ pendant une minute d'un groupe de larves pendant toute leur vie empêche en grande partie l'apparition du statut grégaire. Du CO₂ marqué au ¹⁴C a été utilisé. La radioactivité décroît en fonction du temps dans différents organes prélevés à l'intérieur d'une population traitée, mais persiste beaucoup plus longtemps et plus intensément pendant plus d'une heure dans le système nerveux central, ce qui permet de concevoir l'importance du traitement du CO₂ au niveau neuro-physiologique malgré sa durée quotidienne courte.

Un criquet traité seul vivant au sein d'un groupe, reste très éloigné du statut grégaire du groupe. Cet animal est coupé sensoriellement de son groupe dont il perçoit beaucoup moins les stimuli. Ces types d'expériences sont les meilleurs que l'on puisse réaliser aujourd'hui pour démontrer le mécanisme sensoriel de l'effet du groupement.

Il ne faut pas oublier en outre, que parmi les stimuli, des substances volatiles en mélange complexe émanent des congénères d'une même espèce et peuvent jouer un rôle notable. Après piégeage d'atmosphères d'enceintes contenant des criquets grégaires, des variations relatives de 4 substances détectées par chromatographie gazeuse - spectrométrie de masse caractérisent les espèces, sous espèces et âges étudiés. Parmi ces 4 substances, 3 sont identifiées : Phénol, Guaiacol et Vérateole.

Neurochimie

Peu de travaux remontent «en amont» l'étude du mécanisme phasaire, à part ceux de physiologie endocrine relatés par notre collègue le Pr Girardie.

Puisque le système nerveux central est capable d'une longue rétention de CO₂ appliqué 1 minute, nous avons étudié le fonctionnement neurochimique du cerveau de criquets grégaires ou solitaires.

La synthèse d'AMP cyclique, caractéristique comme second médiateur du fonctionnement de nombreuses cellules et en particulier des neurones, est différente selon la phase. Par stimulation par le principal neuromédiateur des insectes : l'octopamine, la synthèse de l'AMPc est plus élevée chez le solitaire que chez le grégaire. La quantité d'octopamine elle-même d'ailleurs est plus élevée chez le solitaire alors que la situation est inversée pour un neuromédiateur minoritaire comme la dopamine. C'est donc vraisemblablement toute la neurochimie qui est concernée par la situation phasaire; il reste encore beaucoup à étudier à son sujet.

Génétique

Peu de travaux sur le substrat génétique de la réponse au groupement et à l'isolement. Néanmoins, un travail ancien réalisé sur les modifications par le mode de vie obtenu chez un Grillon montre, par sélection, la possibilité d'interpréter en terme de génome les différentes réponses phasaires.

En conclusion, on peut présenter un schéma général du mécanisme «psychosomatique» des phases et l'intégrer dans les nombreux systèmes d'«effets de groupe» connus, traduisant - chez les criquets avec une évidence particulièrement grande - les actions de stimuli spécifiques interéchangés entre individus congénères observés chez les vertébrés aussi bien que chez les invertébrés.

Différences géographiques

Ce que nous venons de dire à propos de l'aspect génétique de la réponse au groupement et à l'isolement nous a mené à la comparaison des polymorphismes phasaires de plusieurs souches d'origines géographiques bien distinctes.

6 souches de *Locusta* très éloignées les unes des autres ont été utilisées en élevant les animaux selon les deux modes de vie et sous trois régimes thermiques différents. (Sardaigne, Mali, Comores, Australie, Afrique du Sud et Turquie).

L'étude morphométrique (variation de E/F en fonction de F/C, taille soit la somme des 4 paramètres, dimorphisme sexuel), montre l'extrême malléabilité des phénomènes et l'existence de potentiels génétiquement différents, de même que l'analyse de la fertilité.

En conclusion, la question est posée de savoir si une forme de lutte génétique n'est pas possible contre les dévastations acridiennes, en introduisant des génomes de souches moins grégaires ou moins fertiles dans les aires endémiques grégaires d'Afrique.

11

Les possibilités des hormones d'insectes dans la lutte anti-acridienne

A. DE LOOF

Institut de Zoologie de l'Université, Naamsestraat 59, B-3000 Leuven, Belgique

Introduction

Dans la période 1960-1970, plusieurs chercheurs ont démontré par des expériences de cautérisation de la pars intercerebralis, par allatectomie et par application de l'hormone juvénile synthétique et de l'ecdysone (l'hormone de la mue) que le système endocrinien du criquet migrateur joue un rôle important dans la transition entre la phase solitaire et grégaire, et dans plusieurs autres processus physiologiques. Le cerveau est le centre coordinateur de tout le système endocrinien. On a supposé que les facteurs humoraux, qui sont libérés par le cerveau via les corpora cardiaca, sont de nature peptidique mais la séquence de la plupart de ces facteurs est restée longtemps indéterminée.

Ce n'est que depuis deux/trois années que ça a commencé à changer. L'introduction de nouvelles méthodes de chromatographie et de la réalisation de la séquence de peptides très sensibles ont permis maintenant de déterminer la séquence en acides aminés d'un peptide, dont on a isolé une quantité de quelques centaines de picomoles. Dans une autre ligne de recherche, on a mis en évidence chez le criquet migrateur, comme chez d'autres insectes, la présence de stéroïdes du même type que ceux des vertébrés. Leur origine et leurs fonctions ne sont pas encore déterminées. L'industrie phytopharmaceutique semble s'intéresser au développement de nouveaux produits qui interfèrent avec les fonctions assurées par l'hormone juvénile, ou par les ecdystéroïdes.

La découverte de nouveaux neuropeptides du criquet migrateur

L'hormone juvénile joue un rôle important dans le contrôle de plusieurs fonctions physiologiques comme la mue et la reproduction. Précocène, un produit qui a été extrait de la

plante *Ageratum*, détruit les corps allates chez certaines espèces d'insectes et arrête la synthèse de l'hormone juvénile. A cause de sa toxicité et d'autres raisons, le produit n'a jamais été commercialisé comme insecticide. La régulation de la synthèse de l'hormone juvénile se fait par deux catégories de peptides, les allatotropines et les allatostatines. Elles sont produites dans le cerveau.

Récemment, les allatostatines du cafard *Periplaneta americana* ont été isolées et leur séquence a été réalisée par l'équipe de recherche du Professeur S. Tobe (Canada). De l'allatotropine de *Manduca*, la séquence des acides aminés est aussi connue (Dr Schooley). Chez le criquet migrateur ou d'autres orthoptères (criquets), ces peptides régulateurs n'ont pas encore été isolés. Le test biologique qu'on utilise dans la purification d'un extrait brut, qui contient les allatostatines ou les allatotropines, est le suivant.

On enlève les corps allates et on les met dans un petit réservoir contenant un milieu de culture dans lequel se trouve un précurseur radioactif de l'hormone juvénile.

Après incubation pendant une période fixe, on mesure par radioimmunologie la quantité du précurseur qui a été incorporée dans la fraction contenant l'hormone juvénile.

Ensuite, on détermine s'il y a dans les extraits du cerveau des fractions qui peuvent stimuler ou inhiber la vitesse de synthèse de la JH. Dans le cas de *Periplaneta*, 4 allatostatines ont été isolées. Comme beaucoup d'hormones peptidiques d'insectes qui ont été isolées récemment, les allatostatines appartiennent à une famille. Une autre famille a été isolée par l'équipe du Dr. Feyereisen (Etats-Unis).

Leur structure n'est pas encore publiée. La séquence de l'allatotropine de *Manduca sexta* (Sphingidae) a été déterminée par l'équipe de Sandoz (Dr Schooley). Dr. Bhaskaran (Texas) a trouvé une allatoinhibine, différente des allatostatines mais ce facteur n'est pas encore purifié. Une fois que les peptides sont isolés, on peut commencer à en déterminer les fonctions. On a déjà trouvé que certains de ces peptides ne sont actifs que pendant des périodes très spécifiques du cycle de développement. Cela suggère qu'il y a d'autres facteurs régulateurs qui ne sont pas encore identifiés. Puisque cette école d'hiver a comme but de rechercher les différentes stratégies qui peuvent être utilisées dans la lutte anti-acridienne on peut se demander si ces nouvelles données peuvent aboutir à une nouvelle série d'insecticides qui peut-être interféreraient avec la formation de la phase grégaire du criquet migrateur.

Il est évident que l'usage de ces peptides eux-mêmes comme insecticides n'est pas réalisable. D'abord, la synthèse de peptides en général coûte très cher. Ensuite, ils ne sont pas très stables dans l'environnement et ils ne peuvent probablement pas pénétrer à travers la cuticule des insectes. Quand ils sont ingérés avec la nourriture (végétale) des insectes, ils seront vite hydrolysés dans l'intestin. Puisque ces découvertes n'aboutissent pas dans une application pratique immédiate, leur importance ne serait pas sous-estimée non plus.

En combinaison avec les méthodes récentes pratiquées dans la recherche biotechnologique, il ne sera probablement pas trop difficile de caractériser les récepteurs de ces peptides. Alors les chimistes peuvent essayer de faire des mimétiques non peptidiques de la partie active des peptides concernés. La technologie du baculovirus offre d'autres perspectives fort intéressantes.

Dans notre laboratoire nous essayons d'identifier des neuropeptides qui influencent le fonctionnement du canal alimentaire de *Locusta migratoria*. Nous pensons que la perturbation du comportement alimentaire pourrait être un objectif pour des nouvelles stratégies de lutte anti-acridienne.

L'isolation de peptides d'insectes inconnus n'est pas facile à réaliser. Les peptides ne sont présents qu'en très petites quantités, les cellules productrices sont petites et peu nom-

breuses. Dans la plupart des cas on ne sait rien de leur(s) fonction(s) ce qui implique qu'on ne dispose pas des tests biologiques qui sont nécessaires pour suivre leur isolation par chromatographie. Jusqu'à présent, nous avons suivi une méthodologie alternative : notamment celle de l'endocrinologie comparée. Mes collaborateurs ont d'abord fait une recherche systématique concernant les similarités entre le système endocrinien des insectes et celui des vertébrés. Au début, nos collègues physiologistes étaient assez sceptiques à propos de cette manière de penser et de réaliser nos objectifs parce qu'on était plus ou moins convaincu qu'il n'y avait pas de similarités entre les arthropodes et les vertébrés. Le contraire s'est révélé être juste.

Nous avons d'abord utilisé des méthodes immunocytochimiques pour voir si dans les tissus d'insectes, il y a des épitopes qui sont reconnus par des anticorps, dirigés contre toute une série de neuropeptides des vertébrés. Les différentes étapes de cette méthode sont les suivantes. On fixe le système nerveux central d'un insecte (dans notre cas du criquet migrateur) selon les techniques histologiques habituelles. L'enrobage se fait en paraffine. On fait des coupes de 5-7 μm d'épaisseur. Après déparaffinage et réhydratation, on commence par incuber les coupes avec un antisérum, préparé dans un lapin, contre une hormone neuropeptidique d'un vertébré, par exemple l'insuline ou la gastrine. A présent, le nombre de neuropeptides, isolés à partir du système nerveux des vertébrés est assez grand. S'il y a dans les coupes du cerveau d'insecte des épitopes qui sont reconnus par l'antisérum, les anticorps se fixeront sur ces épitopes. Cette réaction n'est pas visible au microscope parce qu'on utilise des réactifs incolores. Il faut pratiquer une stratégie qui permettra de visualiser précisément l'endroit où les anticorps se sont fixés. Après rinçage des coupes on les traite avec une solution qui contient un deuxième antisérum, qui est préparé dans une chèvre et qui est dirigé contre les immunoglobulines du lapin.

Cette deuxième réaction n'entraîne pas non plus une coloration. Ensuite on ajoute le complexe peroxydase-antiperoxydase. Celui-ci contient un antisérum, suscité dans un lapin, contre l'enzyme peroxydase (la phosphatase alcaline est une autre possibilité). Ce complexe se fixe sur les anticorps chèvre-anti lapin (deuxième étape). Ainsi on a fixé une enzyme sur l'endroit où se trouvait l'épitope qu'on recherchait. Dans une dernière étape on ajoute un substrat qui peut être métabolisé par la peroxydase en un substrat coloré et insoluble, comme par exemple la diaminobenzidine ou le α -chloronaphtol. Finalement on observe une coloration spécifique dans le cytoplasme de certaines cellules neurosécrétrices. Cette technique très sensible permet de visualiser les cellules réactives. Les résultats obtenus par cette méthode sont assez spectaculaires. Jusqu'à présent mes collaborateurs ont trouvé qu'au moins 70 antiséras différents, tous dirigés contre de différents épitopes/hormones réagissent avec des épitopes présents dans des cellules neurosécrétrices très spécifiques. Colocalisation est rare. Une sélection de ces résultats est représentée dans le Tableau I. Cette méthode peut être appliquée sur n'importe quel tissu. Quand nous avons analysé des coupes de l'intestin, nous avons vu que l'intestin, et surtout la partie médiane ou intestin moyen, renferme un grand nombre de cellules immunoréactives. Certaines de ces cellules semblent avoir des projections envers la lumière et donnent l'impression d'y libérer leur sécrétion. D'autres influencent probablement des cellules voisines ou libèrent leur sécrétion dans l'hémolymphe. En tout cas, c'est remarquable que la plupart des antiséras qui donnent une réaction immunopositive dans le cerveau, réagissent aussi avec des cellules spécifiques de l'intestin. Il semble donc qu'on retrouve chez les insectes une situation qui ressemble beaucoup à celle des vertébrés, notamment qu'il existe aussi un système endocrinien gastro-intestinal. Ce système contient un grand

Tableau I. Localisation immunocytochimique de substances apparentées aux peptides à fonction hormonale chez les vertébrés. Tous les résultats ont été obtenus dans notre Laboratoire.

	Pa			Lm		Sb
	NS	IC	IF	NS	IC	NS
CRF (corticotropin releasing factor)	+	+	+	0	0	0
ACTH (corticotropin) sequence 01-24	+	+	+	+	+	+
sequence 11-24	+	+	+	+	+	+
met-ENK (methionine-enkephalin)	+	+	+	+	+	+
leu-ENK (leucine-enkephalin)	+	+	+	+	0	+
β-END (β-endorphin)	+	+	+	+	0	+
γ-END (γ-endorphin)	-	0	0	-	0	+
α-MSH (α-melanocyte stimulating hormone)	+	+	-	+	+	+
β-MSH (β-melanocyte stimulating hormone)	0	0	0	+	0	+
γ ₃ -MSH (γ ₃ -melanocyte stimulating hormone)	+	0	0	-	0	-
GnRH (gonadotropin releasing hormone)	+	+	-	+	0	+
hFSH (follicle stimulating hormone)	+	-	-	+	0	+
hLH (luteinizing hormone) monoclonal antibody	+	0	0	0	0	0
polyclonal antiserum	+	-	-	+	0	+
VT (vasotocin)	+	0	0	+	0	0
AVP (arginine vasopressin)	+	+	+	+	0	+
OT (oxytocin)	+	?	?	+	0	+
IT (isotocin)	?	0	0	0	0	0
NPI (neurophysin I)	+	+	+	+	0	+
NPII (neurophysin II)	+	?	?	?	0	0
SP (Substance P) monoclonal antibody	+	0	0	0	0	0
polyclonal antiserum	+	+	+	0	0	0
BB (Bombesin)/GRP (gastrin releasing peptide)	+	0	0	-	0	0
Gastrin	+	+	+	+	0	0
CCK (cholecystokinin)	+	+	+	0	0	+
VIP (vasoactive intestinal polypeptide)	+	0	0	0	0	0
PHI (peptide histidine isoleucine)	+	0	0	+	0	-
NPY (neuropeptide tyrosine)	-	0	0	0	0	0
bPP (pancreatic polypeptide)	+	+	+	+	0	+
IGF I (insulin-like growth factor) monoclonal antibody	+	0	0	0	0	0
INS (insulin)	+	+	+	+	+	+
SRIF (somatostatin)	+	0	0	+	0	-
hGRF (growth hormone releasing factor)	+	0	0	+	0	+
hGH (growth hormone)	+	-	+	+	0	+
bGH	+	0	0	+	0	-
fGH	+	0	0	0	0	0
hPRL (prolactin)	+	?	+	+	0	+
fP RL	+	0	0	0	0	0
NT (neurotensin)	+	-	-	0	0	0
PTH (parathormone)	?	0	0	0	0	0
CGRP (calcitonin gene related peptide)	+	0	0	0	0	0
ANF (atrial natriuretic factor (a cardiodilatin sequence))	+	0	0	0	0	0
TSH (thyroid stimulating hormone)	-	0	0	0	0	0
TRH (thyrotropin releasing hormone)	-	0	0	0	0	0
FMRFa (phenylalanine-methionine-arginine-phenylalanine-amide)	+	+	+	+	0	+
AKH (adipokinetic hormone)	+	0	0	+	0	0
PTTH (Bombyx 4K prothoracicotropic hormone) monoclonal antibody	+	0	0	0	0	0

Pa, *Periplaneta americana*; Lm, *Locusta migratoria*; Sb, *Sarcophaga bullata*; NS, nervous system; IC, intestinal cells (paraneuron-type); IF, intestine innervating nerve fibres; h, human; b, bovine; f, fish (salmonid); + positive immunohistochemical reaction; -, not immunocytochemically detected; ?, weak (doubtful) immunostaining; 0, not tested.

nombre de cellules. Beaucoup «d'hormones» connues pour être typiques au cerveau sont aussi présentes dans l'intestin et vice versa.

L'immunocytochimie est une très bonne technique pour obtenir une idée de la complexité du système endocrinien et surtout de la nature approximative de certains épitopes, qui sont présents dans certains types de cellules. Cette méthode ne permet pas d'identifier avec certitude la molécule immunoréactive. Cela doit se faire par des méthodes chimiques et/ou physiques.

Mes collaborateurs ont disséqué 10 000 cerveaux de criquets migrateurs pour en isoler les neuropeptides de poids moléculaire bas. La purification se fait par chromatographie sous haute pression (Tableau II).

Pour suivre les différentes étapes, on a besoin d'un test biologique. Nous avons fait ce test dans une autre espèce d'insecte dans lequel on a testé l'action des différentes fractions de neuropeptides de *Locusta* sur la contractilité de l'intestin postérieur du cafard *Leucophaea maderae*. Nous avons choisi ce système à cause de plusieurs raisons. L'intestin postérieur de ce cafard semble avoir des récepteurs pour un grand nombre de neuropeptides et de neurotransmetteurs, qui sont reconnus non seulement par ses propres ligands mais aussi par des peptides provenant d'autres espèces d'insectes.

Deuxièmement : l'isolation a été réalisée par une de nos collaboratrices, Dr L. Schoofs, au Texas, où la culture de criquets migrateurs est défendu. Troisièmement : l'intestin postérieur de *Locusta* montre un modèle de contractions très irrégulières, ce qui fait que ce système n'est pas un bon système de test. Par contre, la partie antérieure de l'intestin s'est manifestée, après l'isolation, comme beaucoup plus sensible aux hormones peptidiques que la partie postérieure. Nous étions assez surpris quand il est apparu que nos extraits du cerveau de *Locusta* contenaient un grand nombre de peptides qui agissent sur la motilité de l'intestin postérieur de *Leucophaea*, notamment 45. Chez *Leucophaea* lui-même, le Dr M. Holman (Texas) n'a trouvé que 13. De ces 45, 33 ont une action stimulante tandis que 12 inhibent la motilité. Jusqu'à présent, on a déterminé la séquence en acides aminés de 11 fractions. Cinq appartiennent à la famille des leukokinines, 2 à la famille des gastrines cholécystokinine et 4 à une nouvelle famille de tachykinines. Le premier peptide à action inhibitrice ne ressemble à aucun autre peptide déjà isolé.

Une question fort intéressante est : comment peut-on expliquer qu'une multitude de fractions différentes peuvent agir sur l'intestin postérieur. En tout cas, des récepteurs doivent être présents dans cet organe. Il nous semble probable que beaucoup de peptides que nous avons trouvés avec ce type de bioassay, peuvent avoir d'autres fonctions dans l'organisme mais qui restent inconnues jusqu'à présent.

Pour vérifier cette hypothèse, nous avons commencé la préparation d'anticorps contre les peptides synthétiques.

L'immunocytochimie est en cours. Comme on pouvait le prévoir, on trouve des cellules immunoréactives dans le cerveau. Nous étions assez surpris quand l'immunocytochimie démontrait qu'il y a aussi pas mal de cellules immunoréactives dans l'intestin. On peut suggérer qu'un certain nombre de ces peptides ont ici une autre fonction, par exemple la régulation du transport à travers l'épithélium de l'intestin ou de la motilité.

Ces données peuvent-elles aboutir à des applications pratiques ? Peut-être, mais certainement pas à court terme.

Quand la séquence d'un peptide est connue, on peut commencer à isoler le gène codant pour ce peptide. Avec les méthodes qui sont maintenant disponibles, il devient possible d'introduire ces gènes dans des plantes de culture, qui peuvent être attaquées par des insectes. Nous pensons que les peptides, qui semblent être libérés dans la lumière de

Tableau II. Méthode.

Dissection de 10 000 cerveaux/corpora cardiaca/ganglia subcésophagiens		
Extraction dans une solution de méthanol/eau/acide acétique (90/9/1)		
Prépurification sur des colonnes «SEP-PAK»		
High Performance Liquid Chromatography (HPLC)		
1) μ -Bondapak Phenyl	—————→	bio-étalonnage
	SEP-PAK	→
2) Microsorb C ₁	—————→	bio-étalonnage
	SEP-PAK	→
3) Supelco C ₈	—————→	bio-étalonnage
	SEP-PAK	→
4) Waters protein-PAK 1125	—————→	bio-étalonnage
	SEP-PAK	→
Analyse des acides aminés		
Dégradation enzymatique du peptide (aminopeptidase M)		
Bio-étalonnage		
Si nécessaire, élimination du pGLU (pyroglutamine-aminopeptidase)		
Détermination de la séquence des acides aminés		
Synthèse des peptides		

l'intestin, pourraient être fort intéressants dans ce contexte. Les criquets migrateurs se nourrissent avec une multitude d'espèces de plantes, ce qui pose un problème. Une autre stratégie qui peut être envisagée, et qui est en cours de développement extrêmement rapide, est l'usage de baculovirus génétiquement modifiés. Ces virus se multiplient uniquement dans des espèces d'insectes très spécifiques. Ils ne peuvent pas attaquer des vertébrés et ils sont assez stables dans l'environnement. Les baculovirus les mieux étudiés sont ceux qui attaquent le ver à soie *Bombyx mori* et le Noctuide, *Spodoptera littoralis*. Des cultures de cellules stabilisées sont disponibles. On peut transformer ces baculovirus d'une telle manière (avec des méthodes de la biotechnologie) qu'on peut introduire des gènes étrangers après la séquence promotrice des protéines du manteau du virus. Cette méthode est déjà appliquée dans la biotechnologie pour la production en masse de certaines protéines (eg l'interféron). Elle a déjà été essayée par des entomologistes, qui ont introduit le gène, codant pour l'estérase de l'hormone juvénile (Dr Bruce Hammock). Après infection des chenilles de *Manduca*, le gène était exprimé. Le résultat était que le taux d'hormone juvénile était fortement diminué. Malheureusement, les larves, bien qu'elles aient une croissance retardée, ne meurent pas. On sait que la technique est possible, mais il faut encore trouver des gènes intéressants, par exemple ceux de toxines ou d'hormones peptidiques.

Dans une autre ligne de recherche nous avons démontré qu'un grand nombre de stéroïdes, connus pour être typiques des vertébrés, sont aussi présents dans l'hémolymphe et plusieurs tissus d'insectes. Avec la méthode de chromatographie gazeuse en combinaison de spectrométrie de masse, nous avons trouvé onze de ces stéroïdes. Les stéroïdes, dont on trouve systématiquement une grande concentration dans les tissus sont la progestérone et la prégnénolone. Il est difficile de trouver l'origine et les fonctions de ces stéroïdes. Nous avons l'impression que les stéroïdes qui sont importants pour la physiologie des insectes

pourraient se trouver parmi les dizaines de stéroïdes inconnus qui sont présents mais dont personne n'a pas encore essayé d'en déterminer la structure chimique.

Dans la dernière partie de ma conférence, je voudrais parler quelques instants de nouveaux produits chimiques qui ont été récemment synthétisés par une importante compagnie phytopharmaceutique suisse. Leurs chimistes ont repris la synthèse des mimétiques de l'hormone juvénile et ils ont trouvé des produits qui ont une activité 10 000 fois plus élevée que celle de la JH III ou de la méthoprène (*Galleria* bioassay). On va tester ces produits dans notre laboratoire sur *Locusta* mais nous n'avons pas encore de résultats. En Suisse on a aussi synthétisé une série de produits dont on suppose qu'ils ont un effet anti-ecdystéroïde. Nous avons déjà quelques résultats. Au moins deux produits ont un effet inhibiteur sur la mue des nymphes. Il est encore trop tôt pour conclure que cet effet est dû à la suppression de l'action de l'ecdysone.

Conclusions

Les conclusions générales sont :

- En ce moment on fait des progrès énorme dans le domaine de l'identification d'un grand nombre de peptides, provenant du système nerveux central et/ou de l'intestin. Ces peptides ne peuvent pas être utilisés tels que dans la lutte anti-acridienne. L'étude des récepteurs contribuera probablement à designer des produits chimiques de nature non peptidique, qui pourraient bloquer ces récepteurs.

- La technologie de baculovirus a dépassé le stade d'expérimentation primaire. La combinaison de promoteurs efficaces et de "bons" gènes, codants pour des toxines ou des hormones peptidiques, va probablement aboutir au développement de nouvelles stratégies de lutte biologique, qui n'auront pas le désavantage de la pollution de l'environnement.

- On a recommencé la recherche sur la synthèse des produits à action antihormonale et les premiers résultats sont encourageants.

PARTIE III

**Impact de la lutte acricide
chimique sur la biologie du criquet
et sur l'environnement non cible,
notamment sur la faune associée
au criquet et sur l'homme.**

12

Promesses et limites de la lutte chimique dans la stratégie anti-acridienne

T. RACHADI

PRIFAS-Acridologie opérationnelle - Ecoforce® internationale, GERDAT/CIRAD, avenue du Val-de-Montferrand, BP 5035, 34032 Montpellier Cédex 1, France

Introduction

Le criquet pèlerin, est capable de pulluler dans un site donné, de se déplacer rapidement sur de longues distances en franchissant les frontières politiques et de coloniser en très peu de temps des zones très éloignées les unes des autres. En fonction des conditions météorologiques et écologiques, les pullulations et les infestations peuvent varier considérablement dans le temps et dans l'espace. L'histoire de la dernière invasion en est une illustration.

En conséquence, toute stratégie raisonnée de lutte doit tenir compte de ce facteur d'instabilité des cibles.

Le meilleur objectif à fixer pour les interventions contre les invasions du criquet pèlerin devrait être de les empêcher de se reproduire. Car une fois que l'invasion généralisée est déclenchée, les traitements chimiques sont non seulement insuffisants pour l'enrayer complètement (à moins qu'ils ne soient aidés par des événements météorologiques), mais en plus, les quantités d'insecticides à déverser sont colossales, les superficies infestées étant très étendues. Enfin, les effets sur l'environnement entomologique se révèlent rapidement désastreux.

Il convient donc d'admettre que pour se prémunir durablement contre les invasions acridiennes, il faut privilégier la lutte préventive.

Les principes d'une stratégie générale

La lutte préventive

La lutte préventive consiste à intervenir le plus tôt possible dans la genèse des pullulations quand il y a suffisamment d'effectifs pour constituer une cible, et que les surfaces à traiter sont encore restreintes. L'objectif à ne pas perdre de vue est d'empêcher le criquet d'enclencher un processus de grégarisation.

Elle revêt deux aspects :

- la prospection dans les zones grégarigènes;
- les traitements des foyers de grégarisation.

Les zones grégarigènes du criquet pèlerin sont à la fois vastes, peu peuplées et d'accès difficiles, les foyers de grégarisation sont souvent dispersés et instables.

L'évidente nécessité de privilégier la lutte préventive n'échappe à personne. Mais elle est difficile à mettre en pratique car elle doit se dérouler dans des zones désertiques, difficiles d'accès et souvent transfrontalières. Elle nécessite alors des équipes qualifiées dotées de matériels spécialisés et soumises aux exigences d'une logistique rigoureuse.

Cette option a conduit à la création d'organismes et d'institutions anti-acridiennes nationales et internationales chargés de la surveillance et de la lutte préventive. Il s'agit de:

- l'OCLALAV, Organisation Commune de Lutte Anti-acridienne et de Lutte antiAViaire. Elle a été chargée de la lutte préventive contre le Criquet pèlerin en Afrique de l'Ouest et de surveiller les aires grégarigènes situées au Tchad, au Niger, au Mali et en Mauritanie. Dans sa dernière restructuration, elle a renoncé à sa capacité opérationnelle pour se concentrer sur les actions d'information et de formation ;

- la DLCO.EA, Desert Locust Control Organisation for East Africa. Elle a le même mandat initial que l'OCLALAV, en Afrique de l'Est. Ses activités couvrent le Soudan, l'Ethiopie, la Somalie, Djibouti, l'Ouganda, le Kenya et la Tanzanie ;

- la Commission FAO pour l'Afrique du Nord-Ouest, chargée de coordonner les activités anti-acridiennes dans les pays du Maghreb ;

- les Commissions FAO pour le Moyen-Orient et pour l'Asie du Sud-Est. Elles ont le même mandat que l'institution précédente pour l'Iran, l'Afghanistan, l'Inde et le Pakistan.

La lutte préventive n'est pas spectaculaire et les organisations qui en sont chargées sont souvent victimes de leur propre succès et des longues périodes de rémission. L'absence d'essaims dans les zones de cultures occulte la réussite des opérations dans les zones désertiques. En outre, les bailleurs de fonds, habitués à des calculs de rentabilité chiffrables, mettent parfois en cause l'opportunité de leur financement en l'absence d'invasion, tandis que les pays membres, s'estimant rassurés, ou en crise économique, ne paient plus leurs cotisations ou le font avec des retards considérables. Ainsi, la plupart des organisations compétentes se sont-elles trouvées en difficultés financières au moment où des foyers de grégarisation se sont réactivés dans des aires grégarigènes relevant de leur compétence, ce qui a conduit au développement de l'invasion 1987-1989.

La lutte curative

Elle vise à arrêter un début d'invasion, autrement dit à intervenir avec des moyens relativement importants pour éteindre le ou les foyers de grégarisation avant la dissémination

des essaims grégaires. Dans ce cas, la réussite dépend de l'exactitude des signalisations, de la rapidité des interventions et de la qualité des moyens mis en œuvre.

A ce niveau, il est encore possible d'anéantir les populations acridiennes des foyers de pullulation, et même d'arrêter l'invasion si les moyens adéquats sont mis en œuvre au bon endroit, au bon moment.

La lutte palliative

Si la lutte préventive a été insuffisante, si la lutte curative est restée inefficace et que les conditions de dispersion et de reproduction sont réunies sur de grandes étendues, l'invasion du Criquet pèlerin ne peut plus être arrêtée par les seuls moyens techniques actuellement disponibles. Les actions de lutte chimique, si importantes soient-elles, n'ont pour effets que de limiter les dégâts en protégeant ponctuellement les cultures.

Quand le risque d'invasion généralisée est évident, tous les moyens nationaux et internationaux doivent être coordonnés et mis en œuvre à bon escient, afin de diminuer les effectifs acridiens en circulation, et profiter de toute mise en vulnérabilité du criquet par des conditions atmosphériques et climatiques défavorables pour l'espèce, pour ramener la situation sous contrôle et la conduire vers un état de rémission.

Voici deux exemples pour illustrer ce qui vient d'être exposé :

- Les équipes anti-acridiennes marocaines, qui ont su mettre à profit la vague de froid paralysant les essaims arrivés au Maroc durant la période d'invasion de l'hiver dernier, ont pu ainsi les anéantir en totalité durant cette période, contribuant à briser le cycle de cette invasion entre le nord et le sud du Sahara;

- A la même époque, des vents porteurs ont aspiré en altitude des essaims très denses au niveau de la Mauritanie et les ont entraînés vers l'ouest, au-dessus de l'océan Atlantique où la plupart ont disparu. Quelques fragments d'essaims sont bien arrivés aux Caraïbes pour témoigner de la performance.

Le choix des cibles

Il est évident que la priorité doit être donnée à la destruction des bandes larvaires. Les ailés, très mobiles en conditions habituelles de température, ainsi que les œufs dissimulés dans le sol, sont difficiles à atteindre. Aussi n'y a-t-il pas d'autre choix stratégique que de privilégier la lutte contre les larves. Les sites de ponte les plus denses étaient souvent dans des zones inhabitées, dans les dépressions et fonds d'oueds, des opérations spécifiques doivent être entreprises, site après site.

Lutter contre les essaims d'ailés est nécessaire. Privilégier cette cible, c'est laisser l'initiative aux criquets et s'obliger à la mise en œuvre de moyens gigantesques. Cent hectares de bandes larvaires non traitées peuvent se transformer en deux mille hectares infestés d'ailés. La différence n'est pas seulement quantitative, elle est aussi qualitative : à un problème soluble, on substitue une situation pratiquement ingérable.

Pour comprendre l'intérêt de ce choix, il est bon de comparer les avantages et les inconvénients qu'il y a à retenir les larves comme cible par rapport aux ailés (Tableau I).

Tableau I. Comparaison des avantages et des inconvénients entre les bandes larvaires et les essaims comme cible à privilégier.

Eléments décisionnels	Formations grégaires du Criquet pèlerin	
	Bandes larvaires	Essaims d'aîlés
Repérage de la cible	difficile si les larves sont jeunes et la végétation haute. Des prospections minutieuses sont nécessaires en associant les paysans et les nomades à la signalisation. Mais une bande repérée est généralement facile à suivre d'un jour à l'autre	facile et spectaculaire car la cible est tridimensionnelle. Mais elle est fugace, ce qui en rend la poursuite difficile. Le même essaim peut être signalé plusieurs fois et en plusieurs endroits distincts
Mobilité de la cible	réduite par le fait que les larves se déplacent seulement par marche et par saut. Les bandes larvaires parcourent quelques dizaines à quelques centaines de mètres par jour. Elles restent à proximité du lieu de première rencontre	très grande, elle vole de jour, se pose la nuit. Les aîlés immatures se déplacent en permanence, les aîlés matures se sédentarisent un peu au moment des pontes. Les essaims peuvent parcourir des dizaines de kilomètres par jour, des centaines voire des milliers au cours de leur vie
Persistence de la cible dans un même site	plusieurs semaines	quelques heures à quelques jours
Dimension et compacité de la cible	les bandes larvaires sont toujours très denses par unité de surface. Elles occupent des superficies allant de quelques dizaines de mètres carrés à quelques dizaines d'hectares. Elles peuvent se fragmenter, mais se dispersent rarement en se diluant	le volume occupé par un essaim varie considérablement dans la journée en fonction de la température, de la portance de l'air, de la végétation et des activités des criquets. Il est fréquent qu'un essaim colonise un espace vingt fois plus grand que la surface occupée par la bande larvaire dont il est issu
Fragmentation à l'impact	touchées par des épandages d'insecticides, les larves se dispersent peu	lorsqu'il fait chaud, dès que les premiers aîlés perçoivent les premières gouttelettes d'insecticides, il arrive qu'ils s'envolent en déclenchant du même coup l'envol de dizaines de milliers de congénères par réflexe d'imitation, ce qui risque de les mettre hors de portée des épandages

Suite du Tableau I.

Eléments décisionnels	Formations grégaires du Criquet pèlerin	
	Bandes larvaires	Essaims d'ailés
Vulnérabilité de la cible	les larves sont d'autant plus sensibles aux insecticides qu'elles sont jeunes. Leur mobilité est réduite et l'on dispose d'un certain délai d'intervention (environ un mois sur les premiers stades avant que les larves ne deviennent des ailés, quelques jours sur les larves les plus âgées)	les essaims étant très instables, on ne dispose que de quelques heures pour intervenir. Les traitements préconisés se font sur les essaims posés au sol, donc soit au crépuscule, soit à l'aube et peu de temps après le lever du soleil. Généralement, la mobilité des moyens d'intervention est inférieure à la mobilité des essaims. Les ailés sont bien souvent plus résistants aux insecticides que les larves
Pulvérisation adéquate	contre les larves, on utilise des pulvérisations : sol-sol air-sol	on utilise contre les ailés posés des pulvérisations : sol-sol air-sol et, s'ils sont en vol, des pulvérisations : sol-air air-air mais la méthode est dangereuse et peu efficace
Types de traitements possibles	traitement en barrière avec une dose de matière active réduite par hectare si l'insecticide est persistant (quelques semaines). A défaut, traitement en couverture totale avec des insecticides non persistants	traitement en couverture totale lorsque les essaims sont au sol. Le traitement des essaims en vol est très difficile et peu efficace, même avec des produits à effets de choc
Contrôles de traitements	faciles à faire souvent possibles résultats complets	très difficiles parfois impossibles résultats partiels
Sécurité des aéronefs	équivalente à tous les traitements aériens phytosanitaires	grands risques quand l'aéronef traverse des nuages d'ailés
Bilan comparatif	le traitement des bandes larvaires est à recommander à chaque fois que c'est possible car il est facile, économique et à effet durable; la lutte préventive, comme la lutte curative, doit s'orienter vers la destruction des bandes larvaires	le traitement des essaims est déconseillé surtout sur des ailés en vol car il est difficile, coûteux et à effet de courte durée; la lutte contre les ailés n'est entreprise que lorsque la lutte contre les larves a échoué, elle n'est jamais préventive et rarement curative, sauf s'il s'agit d'immigrants immatures séjournant au sol

Cent hectares de bandes larvaires non traités peuvent être convertis en deux mille hectares à traiter. La différence n'est pas seulement quantitative, elle est aussi qualitative : à un problème soluble se substitue un problème insoluble.

Extrait de la lettre SAS 17/88

Le choix des produits

Efficacité acridicide des produits

Les produits doivent être évalués en fonction de leur efficacité acridicide. Après deux campagnes d'expérimentation de produits (1987 et 1988) menées au Niger, au Sénégal et au Tchad, le PRIFAS a proposé la classification suivante :

Excellent acridicide

La mortalité est supérieure à 99,9% de la population cible en quelques jours.

Pour réduire les pullulations ou les invasions de Criquets pèlerins à un seuil qui puisse être contrôlé, il est impératif d'avoir une efficacité locale de 99,9%.

On ne peut donc utiliser contre ce ravageur que d'excellents acridicides.

Très bon acridicide

La mortalité est de 99 à 99,9% en quelques jours.

Acridicide bon

La mortalité est comprise entre 90 et 99% en quelques jours.

Acridicide moyen

La mortalité est comprise entre 75 et 90% en quelques jours.

Acridicide médiocre

La mortalité est inférieure à 75% de la population cible en quelques jours.

Le mode d'action des produits

On peut distinguer deux modes d'action dont il faut tenir compte en fonction de la nature de la cible à atteindre :

Les produits à action létale de choc

La majorité des produits couramment utilisés actuellement en lutte anti-acridienne font partie de cette catégorie. L'action létale significative est atteinte dans les vingt quatre heures qui suivent l'application. La persistance d'action effective dans la plupart des zones d'intervention dépasse rarement quelques jours. Ils ont tous une action de contact mais certains peuvent intoxiquer en plus par ingestion. Ils appartiennent aux familles chimiques des organophosphorés, des carbamates, et des pyrèthrinoides (Tableau II).

- Bendiocarbe

C'est un très bon acricide. Il possède une excellente action de contact, une bonne action par ingestion et une persistance de quelques jours. Il peut être utilisé aussi bien contre les ailés que contre les larves. Il a malheureusement une toxicité orale élevée pour les mammifères. Aussi doit-on s'entourer de précautions au cours des manipulations.

- Chlorpyrifos-éthyl

C'est un très bon acridicide contre les ailés. Il est relativement moins bon contre les larves. Sa toxicité modérée pour les mammifères et les oiseaux en font une alternative au fénitrothion.

Tableau II. Sélection des matières actives efficaces pour lutter contre le Criquet pèlerin - Extrait de la lettre SAS n° 8/89

Famille chimique ou catégorie	matière active	Nom commercial	Firmes	Formulations UBV (Ultra bas volume)	Teneur en matière active (en g/l)	Dose de matière active (en g/ha)	Mode d'action	Cible à privilégier	Particularités
OP (1)	Chlorpyrifos-éthyl*	Dursban	Dow-Elanco	24% 45%	240 450	240 240	contact et ingestion	ailés larves	
OP (1)	Diazinon*	Basudine Diazinon 90	Ciba-Geigy Nippon-Kayaki	96% 90%	960 900	500 500	contact contact	ailés ailés	
OP (1)	Dichlorvos	DDVP 20	Ciba-Geigy	20%	200	200	contact	ailés	produit visqueux, corrosif
OP (1)	Fénitrothion*	Sumithion Folthion	Sumitomo Bayer	96% 50%	960 500	500 300**	contact et ingestion	ailés jeunes larves	produit corrosif
OP (1)	Malathion*	Malathion	Cyanamid Cheminova	96% 96%	960 960	1 000 1 000	contact	ailés	produit volatil, corrosif, visqueux
C (2)	Bendiocarbe*	Ficam	Camco	20%	200	100	contact et ingestion	ailés et larves	
P (3)	Deltaméthrine*	Decis	Roussel Uclaf	1,25%	12,5	12,5	contact et ingestion	ailés et larves	
P (3)	Lambda-cyhalothrine*	Karate	ICI/ Rhône-Poulenc	40	40	20	contact et ingestion	ailés et larves	possibilité d'allergies cutanées
OP/P	Fénitrothion/ Esfenvalerate*	Sumicombi	Sumitomo	-	245/ 5	245/ 5	contact et ingestion	ailés larves	association
OP/C	Phoxim/ Propoxur*	-	Bayer	-	248/ 42	248/ 42	contact et ingestion	ailés larves	association
DC (4)	Téflubenzuron	Nomolt 50 OF	Shell/ Rhône-Poulenc	5%	50	25	ingestion	larves	effet différé à mue suivante
MC (5)	Parathion-méthyl	Pencap M	Penwalt	24%	240	240	contact et ingestion	larves	diffusion ralentie
MC (5)	Fénitrothion	Fenitrothion 400 ME	Penwalt	40%	400	400	contact et ingestion	larves	par micro-encapsulation

(1) Organophosphorés; (2) Carbamates; (3) Pyréthrinoides; (4) Dérégulateurs de croissance; (5) Micro-encapsulés.

(*) Données mises à jour en juin 1989 par la FAO

(**) 300 g ma. fénitrothion sur jeunes larves.

Ce tableau est destiné à orienter les opérateurs anti-acridiens. Établi par le PRIFAS, il ne constitue pas un recensement exhaustif des possibilités de lutte chimique. Aucune responsabilité particulière n'est engagée, les pays concernés par le Criquet pèlerin restant souverains pour le choix des insecticides, en conformité avec leurs règlements phytosanitaires. Des mises au point périodiques sont prévues en fonction de l'obtention de résultats crédibles.

- Diazinon

Il est l'un des premiers insecticides UBV utilisés contre les ailés de locustes. Mais il est bien moins toxique contre les larves. Sa très haute toxicité pour les mammifères le condamne à être abandonné en lutte anti-acridienne.

- Dichlorvos

Il est également appelé DDVP. Il agit exclusivement par contact. C'est un bon acridicide contre les ailés mais il a l'inconvénient d'être très volatile, ce qui l'exclut de l'utilisation contre les larves. Sa très haute toxicité à l'égard des mammifères et des oiseaux milite en faveur de son abandon en lutte anti-acridienne.

- Fenitrothion

C'est un très bon acridicide contre les larves et les ailés, car il combine une très bonne action de contact et un bon effet par ingestion à une persistance d'action de quelques jours. En outre, sa toxicité à l'égard des mammifères et des oiseaux reste modérée aux doses préconisées contre les locustes. A des doses élevées, il est avicide et phytotoxique. Il est pour le moment l'insecticide de choc qui possède le meilleur rapport prix/performance.

- Malathion

Malgré son efficacité relativement faible contre le Criquet pèlerin, cet insecticide a été très utilisé ces dernières années à cause de son faible coût et de sa faible toxicité pour les mammifères et les oiseaux. Il n'en reste pas moins un produit à très large spectre d'action, et, vu les doses d'emploi très élevées nécessaires pour tuer le Criquet pèlerin, il vaut mieux lui préférer le fenitrothion.

- Les pyréthrinoïdes

Certaines pyréthrinoïdes apparaissent comme de très bons acridicides. Elles sont très toxiques pour le Criquet pèlerin à très faible dose (Tableau II) et présentent une faible toxicité pour les vertébrés non aquatiques. Toutefois les résultats des applications à grande échelle sont encore contradictoires. Certains utilisateurs ont jugé les résultats tout à fait acceptables alors que d'autres sont restés perplexes face à un effet de récupération important. En outre, leur effet répulsif faisant éviter les zones traitées aux insectes n'en font pas de bons produits d'ingestion. Aussi, il faudrait préférer l'utilisation de ces matières actives contre les ailés.

Les pyréthrinoïdes marquent incontestablement un progrès en comparaison aux organophosphorés. Il faudra toutefois que des essais en plein champs soient entrepris pour déterminer les doses d'emploi et les formulations les mieux adaptées à la lutte anti-acridienne, des résultats contradictoires n'ayant pas encore reçu toutes les explications requises.

Les produits à longue persistance d'action

La longue persistance d'action de la dieldrine sur la végétation capable de tuer les larves plusieurs semaines après l'application, avait permis de mettre au point une méthode originale, efficace et peu coûteuse car la superficie traitée ne pouvait être qu'une petite proportion de la zone à protéger. Les bandes larvaires, très mobiles, finissaient toujours par traverser la végétation traitée. Au fur et à mesure que l'insecte consommait de la végétation traitée, l'insecticide s'accumulait dans son corps jusqu'à la dose létale, laquelle était atteinte en quelques jours. La dose moyenne pouvait être réduite à 10-15 g de m.a. par ha.

Les interventions conduites par les équipes spécialisées des organisations de lutte préventive, se déroulaient sur les foyers de grégarisation dans les zones grégarigènes loin des aires habitées, selon la méthode de traitement Ultra Bas Volume (UBV) dite en «bar-

rières». Cette méthode a rendu possible la stratégie de lutte préventive et permis de maintenir le fléau en période de rémission pendant trente ans.

Malgré ces qualités, la communauté internationale, sous les attaques répétées d'une minorité d'aides bilatérales, a jugé le produit trop dangereux pour l'homme et l'environnement et en a arrêté définitivement l'usage. Malheureusement cette interdiction est survenue juste au moment de l'entrée en activité de nombreux foyers de grégarisation et avant qu'un produit de substitution ait été trouvé. Cette lacune a contribué au développement de l'invasion de ces trois dernières années.

Les efforts entrepris pour trouver un substitut à la dieldrine doivent être poursuivis. A défaut, toute stratégie de lutte préventive qui ne serait basée que sur les produits à faible persistance d'action, serait coûteuse, peu performante et difficile à mettre en œuvre sans utiliser des avions gros porteurs, engins performants mais incapables de faire autre chose que de la couverture totale.

Pour pouvoir répondre aux exigences de la stratégie mise au point autour des caractéristiques techniques de la dieldrine, le produit candidat doit posséder les qualités suivantes:

- Avoir une persistance d'action de plusieurs semaines après son application sur la végétation;
- Etre disponible en formulations applicables en UBV;
- Etre en formulations stables au stockage pendant au moins deux ans en conditions climatiques sahélo-sahariennes.
- Etre d'un coût non prohibitif.

Deux catégories de produits ont fait récemment leur apparition avec l'ambition de remplacer la dieldrine. Il s'agit des formulations micro-encapsulées et une nouvelle famille chimique : les Benzoyl uree également appelés dérégulateurs de croissance (IGR en anglais).

La première catégorie ne comprend en fait que des organophosphorés déjà utilisés (féntrothion, parathion méthyl, diazinon, etc.), mais dont la persistance d'action a été améliorée par la microencapsulation. Ce procédé, mis au point par la société Penwalt, consiste à enfermer la matière active dans des microcapsules dont la paroi poreuse permet une diffusion lente après application. La libération ainsi contrôlée du produit permet d'allonger sa persistance d'action.

Malheureusement les formulations microencapsulées ont deux handicaps majeurs :

- elles sont exclusivement aqueuses et par conséquent, elles ne peuvent pas être utilisées en UBV (moins de 5l par ha), à cause des risques d'évaporation dans certaines conditions de traitements en lutte anti-acridienne;
- l'amélioration de la durée de la persistance d'action (deux semaines au maximum), n'est pas suffisante pour permettre les traitements en barrière.

Il faut donc admettre que ces formulations n'offrent pas la solution recherchée. Toutefois, elles peuvent rendre des services en période d'invasion lors des traitements en couverture totale contre les bandes larvaires.

La deuxième catégorie, les Benzoyl urée ou dérégulateurs de croissance, comprend une nouvelle génération de produits qui agissent exclusivement par ingestion. Ils perturbent la formation du tissu endocuticulaire des larves qui meurent au moment de la mue suivante. Ce sont donc des larvicides spécifiques ; les imagos et les insectes non phytophages n'étant pas atteints.

Les fabricants de ces molécules affirment tous que ces matières actives possèdent une persistance d'action de plusieurs semaines voire de plusieurs mois même en régions chaudes.

Le PRIFAS a testé le téflubenzuron au Tchad et au Sénégal en 1988. Plus récemment, il a participé au Sénégal à une campagne d'essais incluant le diflubenzuron. En couverture totale, des résultats très encourageants ont été obtenus puisque 10 à 25 g de matière active de téflubenzuron par hectare ont permis d'atteindre 99,9% de mortalité. D'autres résultats obtenus au Mali par des chercheurs de l'université d'Oslo et la Fondation Commémorative de Stromme sur sauteriaux viennent corroborer les résultats déjà obtenus.

Ces résultats permettent d'espérer une solution dans un avenir proche. Il faut donc persévérer dans cette voie pour vérifier en situation réelle si la persistance d'action de ces produits est conforme aux performances annoncées par les fabricants.

Les problèmes liés aux formulations

Pour des raisons (connues de tous), l'emploi des formulations UBV en lutte anti-acridienne est le plus répandu. Actuellement, la quantité d'insecticides épanchée est supérieure à 80% de la quantité totale utilisée.

Mais sur le plan qualitatif, il y a encore des progrès à faire pour améliorer les qualités physico-chimiques des formulations. En effet, au cours des dernières campagnes, beaucoup d'utilisateurs ont eu à faire face à de nombreux inconvénients :

- l'agressivité à l'égard des métaux, des peintures, la déformation des conduites en caoutchouc et en plastique, ce qui peut entraîner des destructions d'organes importants des matériels de traitement;

- l'absence de normes. La trop grande variation des propriétés physiques est souvent un obstacle à la précision des applications. Leur absence sur les étiquettes ne facilite pas non plus la tâche. Les propriétés à normaliser et qui doivent figurer sur les étiquettes sont :

- la viscosité;
- la densité;
- le point éclair.

Si pour des raisons techniques il est impossible de fixer des normes rigides, il n'en reste pas moins souhaitable de fixer des limites qui permettent aux utilisateurs de s'y retrouver pour faire les réglages nécessaires et les ajustements qu'imposent souvent les variations des conditions atmosphériques en cours des interventions.

Le conditionnement doit également être l'objet d'attentions particulières. Les récipients doivent être résistants à la corrosion et faciles à manipuler. Le plus convenable serait de commander des emballages de moins de 25 litres qu'un homme seul puisse déplacer normalement.

La sécurité : c'est un sujet souvent évoqué dans les nombreuses réunions locales et internationales. Il faut rappeler que les risques d'accidents interviennent notamment au moment des transvasements des produits. Aussi, une grande partie des risques serait-elle éliminée si le matériel de transvasement était considéré comme faisant partie du dispositif de sécurité et fourni d'emblée avec le produit.

Le choix de la technique et du matériel d'épandage

L'efficacité biocide d'une matière active peut varier selon la technique de pulvérisation et le matériel d'épandage. Les équipements devront donc être choisis en fonction de la situa-

tion acridienne, des insecticides à utiliser, des superficies à traiter et du niveau de qualification du personnel.

La technique de traitement

La technique «Ultra Bas Volume» (UBV) a fait ses preuves du point de vue de l'efficacité. Elle permet en outre l'utilisation de matériels d'application simples, légers et robustes. Il convient donc de la privilégier en lutte anti-acridienne.

Il apparaît toutefois utile de rappeler les limites d'utilisation de la technique de traitements en UBV, car il y a souvent des excès. En effet, traiter à des volumes inférieurs à 0,5 litre par hectare, c'est s'exposer à de grands risques de pertes par dérive excessive, car les gouttelettes sont trop fines. Quand on réduit le volume appliqué par hectare sans que cela ne s'accompagne d'une spectrométrie convenable, la pulvérisation est médiocre et le résultat aussi. Quant aux pulvérisations aqueuses, il faut rappeler que, sous peine d'évaporation excessive entraînant une grande perte de produit, le Diamètre Médian du Volume (DMV) des gouttelettes d'eau ne doit pas être inférieur à 200 μm . Ce qui veut dire que la quantité de liquide à pulvériser par hectare ne doit pas être inférieure à 5 litres. Aussi est-il déconseillé d'utiliser la technique UBV pour les pulvérisations aqueuses.

On peut donc proposer une définition pour la technique de traitements en Ultra Bas Volume : **c'est une technique de genèse de très fines gouttelettes ayant un DMV < 150 μm , et permettant de pulvériser des liquides huileux à des volumes inférieurs à 5 litres par hectare.**

Le niveau d'intervention

Le choix du niveau d'intervention dépend des superficies à traiter (Tableau III), mais aussi de facteurs locaux conjoncturels tels que praticabilité du réseau routier, disponibilité de la flotte aérienne, pistes d'atterrissage, etc.

Trois niveaux d'intervention sont à distinguer quant au choix du matériel à utiliser :

Le matériel portable par un homme

Dans cette catégorie, on peut surtout ranger les pulvérisateurs UBV à piles et les «atomiseurs à dos». Si la qualité des pulvérisations des premiers est relativement satisfaisante, il n'en est pas de même de celle des seconds. Aussi des progrès restent-ils à accomplir pour que ce type d'appareil puisse rendre des services réels dans la lutte anti-acridienne.

Le matériel portable par un véhicule terrestre

Jusqu'à ces dernières années, le pulvérisateur sur pot d'échappement était pratiquement le seul appareil de cette catégorie à être utilisé en lutte anti-acridienne.

On assiste actuellement à plusieurs tentatives d'introduction avec plus ou moins de succès, de matériel adapté à partir des équipements aériens. On s'aperçoit plus que jamais que les conditions de travail en lutte anti-acridienne sont impitoyables pour le matériel mal étudié. Ainsi peut-on voir actuellement, dans les magasins de Services Nationaux de la Protection des Végétaux, nombre d'appareils ayant à peine servi et qui sont inutilisables faute de pièces détachées.

Tableau III. Le choix des techniques d'épandage. Extrait du «Cube expert», 1988, Ministère de la Coopération/PRIFAS.

Surfaces infestées d'un seul tenant	Personnel disponible	
	Agriculteurs encadrés	Personnel spécialisé Service de la Protection des Végétaux
- de 1 ha	sac poudreux pulvérisateur centrifuge à piles appâts empoisonnés	pulvérisateur centrifuge à piles sac poudreux appâts empoisonnés
1 ha - 10 ha	pulvérisateur centrifuge à piles sac poudreux	pulvérisateur à très bas volume motorisé fixé sur un véhicule tout-terrain
10 ha - 100 ha	pulvérisateur centrifuge à piles sac poudreux pulvérisation pneumatique à dos	pulvérisateur à très bas volume à moteur fixé sur un véhicule tout-terrain
100 ha - 1 000 ha	pulvérisateur centrifuge à piles pulvérisateur pneumatique à dos	pulvérisateur à ultra bas volume branché sur pot d'échappement d'un véhicule tout-terrain
1 000 ha - 10 000 ha		avion léger hélicoptère léger avec appui logistique au sol
10 000 ha - 100 000 ha		avion léger plusieurs hélicoptères légers
+ de 100 000 ha		avion moyen porteur plusieurs avions légers avion gros porteur quadrimoteur en zone peu habitée sans appui logistique au sol à moins de 500 km

Rappelons que les qualités garantissant le succès sont la robustesse, la simplicité d'emploi et la manœuvrabilité.

Les équipements aériens

Des progrès réels ont été accomplis ces dernières années car le marché de l'aviation agricole est en pleine expansion.

Les modes d'intervention en lutte anti-acridienne

Les traitements en couverture totale

Il s'agit de traiter la totalité de la superficie infestée.

Les traitements contre les essaims

On traite tôt le matin quand le froid maintient les ailés au sol, car tenter d'atteindre les essaims en vol est non seulement peu efficace mais aussi dangereux pour les aéronefs (colmatage des filtres à huile, perte de visibilité frontale par écrasement de criquets sur le pare-brise).

Etant donné que les produits agissent essentiellement par contact, l'insecte doit être touché pour être tué. Aussi la qualité de la pulvérisation est-elle primordiale pour assurer un résultat biocide acceptable. On utilise la technique de la Dérive Contrôlée qui permet des interventions rapides sur de grandes étendues.

En fonction de la vitesse du vent latéral, les andains seront d'une largeur de :

- 200 mètres au maximum si la végétation est basse et uniforme (steppe);
- 100 mètres au maximum si la végétation est dense et arborée.

Toute réinfestation continue de la zone traitée nécessitera un nouveau traitement :

- quelques heures après une application de DDVP (dichlorvos);
- 24 heures après une application de malathion;
- 48 heures après une application de fénitrothion.

Les traitements contre les bandes larvaires

Il convient d'utiliser les produits agissant par ingestion. La persistance d'action du produit et la densité de la végétation déterminent la largeur maximale de l'andain qui, en tout état de cause, ne devrait pas dépasser 300 mètres. Il sera de :

- 200 mètres au maximum pour le fénitrothion et le chlorpyrifos;
- 300 mètres au maximum pour les microencapsulés et le bendiocarbe.

Les traitements en barrière

Cette technique n'est valable que pour le traitement des bandes larvaires de locustes et avec des produits ayant une persistance d'action d'au moins un mois, afin que même les insectes sous forme d'œufs puissent être atteints ultérieurement après l'éclosion. Elle n'est applicable avec aucun des produits actuellement utilisés en lutte anti-acridienne. Seuls les benzoyl urée (dérégulateurs de croissance) permettent d'espérer le retour à cette possibilité si la longévité du produit est aussi longue qu'on le dit en conditions réelles d'application.

La technique a été mise au point à partir des observations sur le comportement et le développement des bandes larvaires :

- les larves sont voraces; elles peuvent consommer l'équivalent de leur propre poids par jour;

- elles se déplacent d'environ une centaine de mètres par jour pour les premiers stades (L1 et L2), de quelques centaines de mètres pour les L3 et L4 et plus d'un kilomètre pour les derniers stades L5.

La durée des stades larvaires du Criquet pèlerin en phase grégaire est de :

- 6 à 12 j pour les L1;
- 6 à 12 j pour les L2;
- 7 à 14 j pour les L3;
- 8 à 16 j pour les L4;
- 9 à 18 j pour les L5;

La durée de vie larvaire est minimale (36 jours) quand les conditions de développement sont optimales. La durée d'incubation des œufs dans les mêmes conditions est de 12 jours; soit une durée de 48 jours entre la ponte et l'apparition d'un nouvel ailé. Au cours de sa vie larvaire, le criquet pèlerin peut parcourir 10 à 25 km, distance d'autant plus importante que la végétation est plus faible.

La technique de traitement en barrière consiste à appliquer le produit suivant des andains distants de 300 à 1 500 mètres, en recherchant bien entendu à être le plus près possible de la plus grande des deux distances. Il est bien évident que la couverture réelle par le produit dépend de la dérive latérale. Le calcul de la dose de matière active par hectare doit tenir compte de la totalité de la surface protégée.

Conclusion

La lutte chimique sera d'autant plus décisive et moins polluante qu'elle interviendra tôt dans la genèse des invasions du Criquet pèlerin, c'est-à-dire en lutte préventive. A l'inverse, la dernière invasion l'a parfaitement démontré, placer une confiance aveugle dans la lutte chimique pour arrêter une invasion généralisée du Criquet pèlerin, relève de l'utopie et de l'inconscience, par méconnaissance du phénomène.

L'interdiction (globalement légitime) de l'utilisation de la dieldrine, alors qu'un produit de substitution n'est pas encore trouvé, a affaibli la stratégie de lutte préventive. Les produits de choc ont clairement révélé leurs limites à influencer significativement les événements face à la pression acridienne soutenue ou en expansion. Leur utilisation en lutte préventive est coûteuse et peu performante. En dehors des aires grégarigènes, elle est onéreuse, polluante, et témoigne de l'échec de la prévention.

Les chances de réussite des projets de lutte préventive seront considérablement confortés par la découverte d'un substitut à la dieldrine. Les dérégulateurs de croissance pourraient constituer une alternative réaliste. Il faudrait toutefois multiplier les essais en conditions réelles et comparer entre elles les différentes molécules de ce type, afin de confirmer leur persistance d'action, d'établir les préférences et les limites d'utilisation.

Bibliographie générale

1. Duranton JF. (1989). Evaluation des situations acridienne et anti-acridienne au Maroc (7 au 18 décembre 1988). Ministère des Affaires Etrangères, Paris-CIRAD/PRIFAS, Montpellier, France, Doc multigr D 317 : 49 p.
2. FAO. (1978). The use of alternative insecticides for locust control. Organisation Mondiale pour l'Alimentation et l'Agriculture. TF/AFR 40 SWE.
3. Johnstone DR. (1971) Droplet size for low and ultra-low volume aerial spraying. Foreign and

Commonwealth Office, Overseas Development Administration, Tropical Pesticides Research Unit, Porton Down, England Cott Gr Rev, 48 : 218-233.

4. Launois M, Launois-Luong MH, Rachadi T. (1988). La lutte chimique contre les criquets du Sahel. Collection Acridologie Opérationnelle n° 3. CILSS/Département de formation en Protection des Végétaux/CIRAD-PRIFAS et Pays-Bas, Niamey Niger; 83 p.

5. Launois M, Launois-Luong MH, Rachadi T, Dubois V. (1988). Efficacité réelle des traitements acridicides localisés. Ministère de la Coopération, Paris-CIRAD/PRIFAS, Montpellier, France. Doc multigr D 309 : 34 p.

6. Maas WX. (1971). ULV application and formulation techniques. Philips-Duphar BV, Amsterdam, Pays-Bas; 165 p.

7. Rachadi T. (1986). Mission Transsaharienne II. Point de la situation acridienne à la fin de la saison des pluies 1986. Bilan de la lutte anti-acridienne, 8 sept au 20 oct 1986. Fondation de France, Paris/CIRAD-PRIFAS, Montpellier, France, Doc multigr D 224 : 119 p.

8. Rachadi T. (1988). Mission d'évaluation et d'appui technique à la lutte contre le Criquet pèlerin en Tunisie, du 7 au 15 avril 1988. CIRAD/PRIFAS, Montpellier, France, Doc multigr D 288 : 31 p.

9. Rachadi T. (1988). Le choix des cibles. SAS 88, lettre d'information n° 17 du 27 décembre 1988. CIRAD/PRIFAS, Montpellier, France; 69-70.

10. Rachadi T. (1989). Les pulvérisations en lutte anti-acridienne. Cours de formation 22 janvier - 5 février 1989, Tunisie. Ministère des Affaires Etrangères, Paris, CIRAD/PRIFAS, Montpellier, France, doc multigr D 33 : 97 p.

13

Etude de certains aspects de la physiotoxicologie d'insecticides de synthèse chez le Criquet migrateur : *Locusta migratoria* R. & F.

B. MORETEAU

Laboratoire de Zoologie et d'Ecologie, URA CNRS 690, Université Paris-Sud, Centre d'Orsay, Bât. 442, 91405 Orsay Cédex, France ()*

Les insecticides de synthèse et autres pesticides exercent leur action selon deux modalités sur les organismes cibles ou sur ceux qui sont exposés à ces substances par suite de la contamination de l'environnement. La première se traduit par des intoxications aiguës qui provoquent, à plus ou moins brève échéance, la mort des individus exposés ou, chez les survivants, de profondes perturbations affectant les grandes fonctions biologiques, en particulier, la reproduction. La seconde correspond à la toxicité dite à «long terme» et résulte de l'exposition permanente des organismes aux faibles doses présentes dans le milieu ambiant contaminé par ces substances. Ce type de toxicité peut engendrer divers désordres pathologiques tels que le ralentissement de la croissance ou la réduction de la fécondité.

Les toxiques que nous avons utilisés sont des substances douées de propriétés insecticides tels que le lindane, la dieldrine, le chlordimeform, le fenthion, le baygon et la deltaméthrine.

Le lindane et la dieldrine sont des composés organohalogénés, de propriétés voisines. Ils provoquent chez les insectes des symptômes d'intoxication comparables et se comportent l'un et l'autre comme des poisons du système nerveux. Le lindane a été choisi non seulement en raison de l'importance de son usage mais aussi parce qu'il représente l'un des rares organohalogénés dont l'emploi demeure légal à l'heure actuelle.

(*) Adresse actuelle : Laboratoire de Biologie et génétique évolutives, Centre National de la Recherche scientifique, 91198 Gif-sur-Yvette Cédex, France

Nous avons aussi testé le chlordimeform, insecticide récent appartenant au groupe des formamidines. L'emploi de ce dernier nous a paru intéressant car il a été démontré qu'il inhibait chez le rat les systèmes enzymatiques responsables de l'inactivation des monoamines.

Le fenthion est un insecticide dont l'emploi est important aussi bien dans l'espace rural que dans la lutte contre les insectes vecteurs d'affections parasitaires ou microbiennes. Il appartient à la famille des composés organophosphorés lesquels se comportent comme des poisons synaptiques dans le règne animal.

Le baygon est un représentant de la famille des N-méthylcarbamates, doués d'importants effets stérilisants à doses sublétales. Il constitue un composé de choix pour les recherches relatives à la perturbation des fonctions reproductrices par les pesticides.

Enfin, la deltaméthrine, pyréthriinoïde de synthèse, est dotée d'une puissante action insecticide. Son usage tend à se développer depuis quelques années. Son mode d'action est loin d'être élucidé; c'est la raison pour laquelle nous avons décidé d'en étudier les effets de façon plus approfondie.

Perturbations neuroendocrines provoquées chez le Criquet migrateur par des doses sublétales de lindane

L'intoxication des insectes par les insecticides de synthèse provoque de profondes perturbations physiologiques. Celles-ci se traduisent principalement par une perte d'eau intense, un accroissement des échanges respiratoires, une déperdition de divers métabolites (glucides, métabolites intermédiaires du cycle de Krebs et lipides) et surtout par des troubles des systèmes nerveux central et périphérique. Certains aspects du syndrome d'empoisonnement suggèrent que l'action sur le système nerveux s'accompagne de perturbations au niveau des organes endocrines. En 1967 [1], Ramade a mis en évidence, pour la première fois, diverses modifications ultrastructurales dans les cellules neurosécrétrices protocérébrales de la mouche domestique (*Musca domestica*) intoxiquée par le lindane.

Compte tenu des altérations observées au niveau cérébral chez *Musca domestica*, on pouvait penser que les *corpora cardiaca* étaient également affectés par l'intoxication avec un insecticide se comportant en poison ganglionnaire. En effet, ces glandes reçoivent dans leur partie nerveuse les faisceaux de fibres neurosécrétrices émanant des ganglions céréroïdes et possèdent, en outre, des cellules qui leur sont propres. Nous avons complété ces investigations par l'étude des effets de l'intoxication par le lindane sur les *corpora allata* reliés à ces derniers par des nerfs : les nerfs allates. Les *corpora allata* sont constitués de cellules glandulaires d'aspect identique enveloppées par une fine assise conjonctive entre lesquelles s'insinuent des fibres nerveuses ordinaires et les prolongements des fibres neuro-sécrétrices émanant des cellules neurosécrétrices protocérébrales médianes (incluses dans les nerfs paracardiaques internes NCCI).

Des criquets migrateurs (*Locusta migratoria*) des deux sexes, au dernier stade larvaire (5^e) et au début de la vie imaginaire, chez les femelles, ont été intoxiqués par application d'une microgoutte (4 μ l) d'une solution acétonique de lindane, déposée au niveau de la région collaire.

Le lindane provoque des troubles neuromusculaires caractérisés par une série de symptômes cliniques se succédant de façon systématique et décrits chez *Schistocerca*, en 1947 [2], par Pasquier. Chez *Locusta*, on observe 4 phases :

1. une phase prodromique : peu de temps après l'application du toxique, l'insecte se déplace activement le long des parois du récipient dans lequel il est enfermé. Peu à peu,

ses déplacements sont interrompus par des périodes d'immobilité de plus en plus fréquentes et de plus en plus prolongées.

2. une phase choreo-ataxique caractérisée par une hyperexcitation de l'insecte qui effectue des tentatives incohérentes de saut, accompagnées d'une incoordination des mouvements et de tremblements intenses de tous les appendices.

3. une phase clonique où l'insecte tombe sur le dos et est incapable de se relever. Ses appendices et les segments abdominaux sont animés de mouvements convulsifs. Cette phase correspond au «Knock-Down» décrit par les auteurs anglo-saxons.

4. le dernier stade psérique ou paralytique se caractérise par une tétanisation et une paralysie progressives.

Une dose subléthale, provoquant environ 90 % de «Knock-Down» en 24 heures, a été appliquée soit :

- 6 µg/individu pour les larves du dernier stade
- 8 µg/individu pour les imagos.

Les insectes que nous avons étudiés ont été prélevés à deux stades différents de leur intoxication : soit au niveau de l'incoordination musculaire (phase clonique ou «Knock-Down») soit dans la phase psérique ou paralytique. Après 20 heures d'intoxication, les individus ont été disséqués et le complexe *corpora cardiaca* - *corpora allata* fixé et traité selon les méthodes classiques de microscopie électronique [3, 4].

Corpora cardiaca

Diverses lésions cytopathologiques sont observées dans la région glandulaire et la partie nerveuse des *corpora cardiaca*. Dans la zone glandulaire, les saccules et vésicules golgiennes s'hypertrophient et constituent des vacuoles de taille anormale qui envahissent le cytoplasme. Il apparaît une augmentation de la fréquence des corps denses et des figures pseudomyéliniques. Les axones de la partie nerveuse présentent aussi divers aspects pathologiques. Alors que chez les témoins, les neurotubules ont un agencement régulier, chez les animaux intoxiqués, les vacuoles aux contours très irréguliers apparaissent dans l'axoplasme. L'intoxication par le lindane provoque également des altérations des neuro-sécrétions dans les fibres de la partie nerveuse et des sécrétions de la partie glandulaire.

Nous remarquons trois principaux types d'altérations. Ils portent sur la distribution de la fréquence de taille des grains, sur leur forme et sur leur opacité aux électrons. Dans un premier type d'altérations, on remarque une augmentation de la fréquence des grains de grande taille par rapport aux témoins où les grains de sécrétion paraissent de taille homogène. Il semble que les grains de grande taille se forment par coalescence de granules de faible diamètre. Nous observons aussi une irrégularité de forme de grains qui prennent, dans certains cas, un aspect anguleux, parfois avec des échancrures alors qu'ils sont de forme subovoïde chez les témoins. Un troisième type d'altérations ultrastructurales des grains tant dans la partie nerveuse que dans la partie glandulaire se rapporte à leur opacité aux électrons. En effet, chez les témoins, l'opacité des grains aux électrons est assez homogène à l'intérieur d'une même cellule ou d'un même axone. Il n'en est pas de même chez les individus intoxiqués où les grains très opaques aux électrons coexistent avec une population variable mais toujours importante de grains quasiment transparents aux électrons. Dans certains cas, le contenu des grains paraît se vider dans le hyaloplasme. Dans d'autre cas, la membrane des grains semble inaltérée, mais la partie périphérique de leur contenu diminue progressivement de densité aux dépens d'un «noyau central» qui demeu-

re provisoirement plus dense aux électrons. On note également de profondes modifications des mitochondries avec déformation des crêtes et vacuolisation de la matrice.

Corpora allata

L'intoxication aiguë par le lindane, tant au cinquième stade larvaire que chez les femelles en cours de premier cycle ovarien, provoque des modifications ultrastructurales assez prononcées dans les *corpora allata*. Une augmentation anormale du volume des espaces intercellulaires est observée. Chez les larves du cinquième stade dont les *corpora allata* sont inactifs, les espaces intercellulaires sont normalement virtuels. Ils deviennent dilatés après l'intoxication. De même, les espaces intercellulaires chez les femelles adultes aux *corpora allata* actifs s'hypertrophient de façon considérable. Les noyaux des cellules glandulaires semblent diminuer de volume et leur enveloppe prend un aspect plissé. Les amas de chromatine paraissent à la fois densifiés et dispersés dans le nucléoplasme. Les mitochondries subissent des modifications telles que dilatation, vacuolisation et dissociation des crêtes. D'importantes altérations touchent le reticulum endoplasmique lisse. On constate systématiquement un aspect de type spiralisé du reticulum tant au 5^e stade que chez les adultes dont les *corpora allata* étaient actifs au moment de l'empoisonnement. On observe, au niveau de la structure fine du reticulum, une dissociation des feuillettes. Dans certains cas, il apparaît au centre des spires du reticulum une vacuole qui semble dépourvue de paroi et provenant selon toute vraisemblance de sa désagrégation. Les fibres neurosécrétrices montrent aussi diverses modifications en rapport avec l'intoxication, en particulier, une altération des grains. Les parois de certains d'entre eux paraissent se dissocier de sorte qu'ils se vident dans l'axoplasme environnant. En outre, la densité des grains décroît lors de l'intoxication chez les femelles en cours de cycle ovarien, alors que chez les femelles témoins, ces grains sont denses dans leur immense majorité.

Remarques

De l'ensemble de nos observations, nous retiendrons que les altérations mitochondriales ne nous paraissent pas spécifiques. Lors d'intoxications cellulaires, de telles altérations ont été décrites avec des substances dont le mode d'action est des plus varié : antibiotiques (chloramphénicol), herbicides (morphamquat) et insecticides (lindane, parathion). Dans chacun de ces cas, ont été observés des gonflements mitochondriaux avec altération des crêtes. De même, les phénomènes de vacuolisation se rencontrent de façon très fréquente au niveau cellulaire lors d'intoxications aiguës avec des composés très divers. A l'opposé, les modifications observées dans les *corpora cardiaca*, au niveau des grains, tant dans les axones de la partie nerveuse que dans la partie glandulaire, nous paraissent plus particulières de l'action du lindane. Un tel phénomène n'a pas été observé dans les cellules neurosécrétrices protocérébrales de la mouche domestique intoxiquée par le parathion (organophosphoré). Nous considérons que les modifications relatives à une décharge de grains à l'intérieur du cytoplasme ou de l'axoplasme seraient de nature à entraver la libération des neurohormones par exocytose. D'ailleurs, les phénomènes d'exocytose sont peu fréquents dans les *corpora cardiaca* d'insectes intoxiqués que nous avons étudiés.

Dans les *corpora allata*, les modifications qui nous paraissent les plus importantes, quant à leur signification physiologique, sont celles qui concernent le reticulum endoplas-

mique lisse et celles des terminaisons neurosécrétrices. Nos résultats sont à rapprocher des travaux relatifs au mode d'action du précocène chez le même insecte [5]. Le précocène est un nouvel insecticide provoquant de façon anticipée la mue imaginale. Une dilatation des espaces intercellulaires dans les *corpora allata* est observée après 90 minutes d'intoxication au cours du 4^e stade larvaire; celle-ci est interprétée par les auteurs comme un arrêt d'activité de la glande. Nos propres observations mettent en évidence de telles altérations des espaces intercellulaires. En outre, les modifications décrites dans le reticulum endoplasmique dans les cellules glandulaires réputées actives au moment de l'intoxication et les altérations ultrastructurales observées au niveau des feuillettes suggèrent que le lindane, lors d'une intoxication aiguë, provoquerait une inhibition de l'activité glandulaire.

Insecticides et métabolisme hydrique

L'intoxication des insectes par les insecticides de synthèse provoque de profondes perturbations physiologiques. Celles-ci se traduisent par des troubles du système nerveux central et périphérique, comme nous l'avons montré précédemment. De plus, ces perturbations se traduisent par une perte d'eau intense résultant d'une défécation et d'une transpiration excessives. Le dérèglement des processus de régulation de la teneur en eau chez les insectes soumis à un insecticide a été souvent constaté. Nous avons observé que l'intoxication de *Locusta*, avec quatre insecticides différents : lindane, fenthion, baygon et deltaméthrine, provoque une diminution significative de leur poids corporel aussi bien chez les mâles que chez les femelles. Dans les mêmes conditions expérimentales, les lots témoins ne présentent pas de différence significative de poids (fig. 1). Une analyse fine des résultats permet de préciser que les pertes de poids sont bien liées à la perte en eau.

Effets perturbateurs des insecticides sur le métabolisme glucidique

Les effets du lindane, fenthion, baygon et deltaméthrine sur la concentration en glucides totaux et tréhalose hémolymphatiques des larves de *Locusta migratoria* au jour 4 du dernier stade sont consignés dans la figure 2. Nous avons choisi d'utiliser, dans nos séries expérimentales, ce jour précis du stade car c'est à ce moment que les teneurs des métabolites étudiés sont maximales. Le jour 4 correspond en outre au milieu du 5^e stade. Le lindane et le fenthion aux doses provoquant le «Knock Down» 50, diminuent très significativement la teneur en glucides totaux (50 et 33 %) et du tréhalose circulant (45 % et 36 %) chez les mâles et les femelles. La deltaméthrine agit de même (diminution de 30 % de la glycémie et de la tréhalosémie). Par contre, chez les animaux intoxiqués par le baygon, ces paramètres ne sont pas modifiés. La perte de poids toujours observée chez les insectes après intoxication par les insecticides étudiés ne s'accompagne donc pas toujours d'une baisse de la glycémie et de la tréhalosémie [6].

Nous constatons que les doses sublétales diffèrent selon le type d'insecticide : 5 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ pour le fenthion, 3 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ pour le lindane, 0,3 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ pour le baygon et 0,125 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ pour la deltaméthrine. Elles sont faibles en comparaison avec les concentrations utilisées par d'autres auteurs : 500 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ de lindane chez l'adulte de *Schistocerca gregaria* [7], 10 à 35 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ chez l'adulte mâle de *Periplaneta americana* [8].

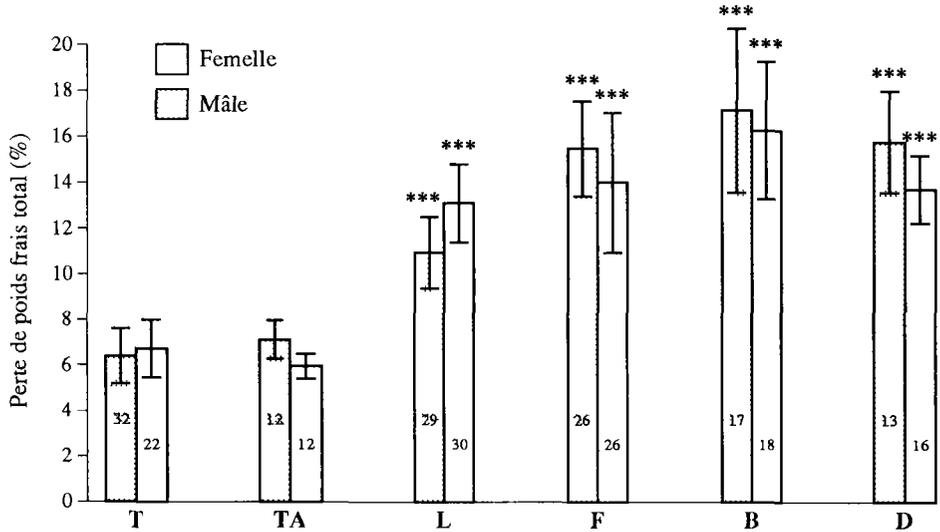


Figure 1. Pertes de poids des larves L5 de *Locusta migratoria* au jour J4 après 18 heures d'intoxication par des doses d'insecticides ayant provoqué 50% de *Knock-Down*. T : témoins; TA : témoins acétone; L : lindane ($3\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$); F : fenthion ($5\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$); B : baygon ($0,3\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$); D : deltaméthrine ($0,125\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$). *** $p \leq 0,1\%$.

Nous mettons donc en évidence le fait que des insecticides appartenant à des groupes chimiques distincts (organophosphorés : fenthion; organohalogénés : lindane; pyréthri- noïdes : deltaméthrine) provoquent une chute du métabolisme glucidique lors du stade «Knock-Down». La diminution des réserves glucidiques est connue chez *Schistocerca gregaria* avec divers insecticides [6] et chez *Periplaneta americana* après intoxication par le DDT [9] et après application de lindane [8].

Les insecticides provoqueraient la libération de certaines hormones chez les insectes [10, 11, 7]. Cette libération pourrait être une étape dans l'action létale des insecticides [8]; en effet, un déséquilibre de la balance hormonale peut avoir des effets considérables sur la physiologie et le comportement de l'insecte et contribuer ainsi à son empoisonnement.

Compte tenu des effets cytopathologiques observés au niveau des *corpora cardiaca* chez *Locusta* après intoxication par le lindane [3] et le rôle important des *corpora cardiaca* dans la régulation du métabolisme glucidique chez les criquets [12], [13], nous pensons que le lindane exerce son effet par l'intermédiaire des facteurs agissant sur les glucides, contenus dans les *corpora cardiaca*.

Les animaux traités par les quatre insecticides considérés présentent une phase d'hyper- activité avant d'arriver aux stade de prostration. Une telle hyperactivité pourrait être à l'origine de la chute des glucides circulants; toutefois cette interprétation n'est pas valable dans le cas du baygon puisque celui-ci n'a pas d'action sur les glucides dans nos condi- tions expérimentales.

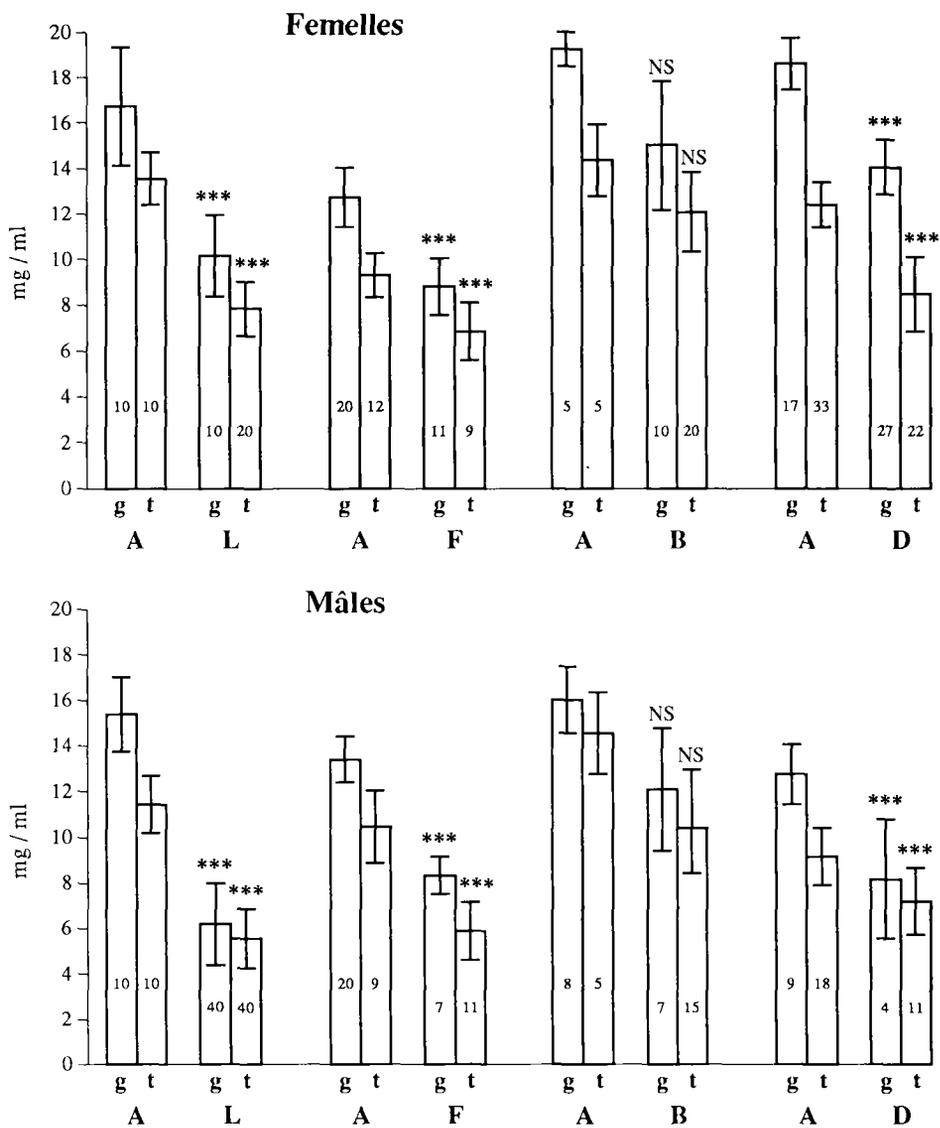


Figure 2. Effets du lindane, fenthion, baygon et deltaméthrine sur la concentration en glucides totaux et tréhalose de l'hémolymphe du stade 5 de *Locusta migratoria* (mâles et femelles âgés de 4 jours).

g : glucides totaux; t : tréhalose; *** : $p \leq 0,1\%$; NS : non significatif; A : témoins acétone; L : lindane ($3 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$); F : fenthion ($5 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$); B : baygon ($0,3 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$); D : deltaméthrine ($0,125 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$).

Effets sur le domaine monoaminergique

La compréhension de la physiologie nerveuse et neuroendocrinienne des insectes a beaucoup progressé au cours de la dernière décennie avec la mise en évidence d'un important domaine monoaminergique dans le système nerveux central et neuroendocrine des insectes.

Les expériences furent conduites afin de déterminer s'il y avait une relation entre le taux d'amines cérébrales et le comportement lié à l'intoxication.

La dopamine et la 5-Hydroxytryptamine (5-HT ou sérotonine) sont des amines biogènes aromatiques qui servent de neurotransmetteurs chez les insectes [14]. Ces substances, en particulier, la 5-HT sont impliquées dans la régulation du comportement des rythmes circadiens dans de nombreuses espèces d'invertébrés [15, 16, 17, 18, 19].

Nous avons analysé les effets du lindane sur les teneurs cérébrales en dopamine et 5-HT. Cet insecticide a été choisi car il agit sur le système aminergique dans le cerveau des Mammifères [20], où l'administration de doses aiguës (180 et 240 mg.kg⁻¹) induit une élévation de la concentration de sérotonine. Les seuls travaux effectués chez les insectes sont ceux de Sloley [21] sur la Blatte, *Periplaneta*. Ces auteurs montrent que le lindane n'affecte pas les teneurs cérébrales de 5-HT et de tryptophane mais, à faibles doses (5 et 15 µg par individu), provoque une augmentation des taux de dopamine et de N-acétyldopamine pour les doses plus élevées (25 et 50 µg par individu).

- Mise au point de la méthode de séparation.

Une méthode de détection simultanée de la dopamine (catécholamine) et de la 5-Hydroxytryptamine (indolalkylamine) dans le cerveau d'insectes par chromatographie liquide à haute performance (HPLC) avec détection électrochimique a été mise au point [22]. Le potentiel appliqué au niveau de l'électrode de travail est de 0,750 V avec une électrode de référence en Ag-AgCl. La séparation est réalisée sur une colonne ODS (C₁₈, phase inverse, taille des particules de 5 µm, 250 x 4,6 mm) précédée par une précolonne, en élution isocratique.

La phase mobile (pH 4,2) est constituée d'acide citrique, d'acétate de sodium, d'octylsulfonate de sodium, d'EDTA et de méthanol 20 % (V/V). Le débit de la phase éluante est réglé à 0,8 ml.mn⁻¹ (2000 psi).

Les solutions standard de dopamine et de 5-HT sont préparées dans l'acide perchlorique 0,2 M contenant de l'acide ascorbique pour éviter leur oxydation. Les standards dilués à des concentrations déterminées sont préparés chaque jour ainsi que les échantillons biologiques.

Les cerveaux sont disséqués dans la glace fondante. Chaque cerveau est broyé au froid dans 100 µl d'acide perchlorique 0,2 M. Les homogénats sont centrifugés à 4°C pendant 20 minutes à 12 000 g. Les surnageants sont prélevés et analysés le jour même. Chaque extrait est injecté dans le système HPLC dans un volume constant de 20 µl (vanne d'injection).

- Etude réalisée au cours du cinquième stade larvaire.

Aucun travail à ce jour de détermination des teneurs de dopamine et 5-HT n'a été réalisé sur les larves de *Locusta*. Dans une revue générale consacrée aux amines biogènes dans le système nerveux des insectes [14], seul le travail de Hiripi et Rószka [23] est mentionné.

Il porte sur des imagos âgés (300 et 400 individus pour une analyse); les teneurs obtenues sont vraisemblablement entachées d'erreurs (problème de la non-sélectivité et de la faible sensibilité de la méthode fluorimétrique).

Aussi, avons nous réalisé la détermination des teneurs de dopamine et de 5-HT dans le cerveau d'insectes témoins, à tous les jours du stade, qui dure 7 jours dans nos conditions expérimentales. Cette analyse nécessite des mesures répétées sur un nombre suffisant d'individus (Tableau I). De l'ensemble des données expérimentales obtenues, il ressort que la dopamine est toujours présente à une concentration voisine à tous les jours du stade, ce qui donne, en moyenne, pour les mâles témoins (n=123) $1,25 \pm 0,06$ ng/cerveau et pour les femelles témoins (n=118) $1,07 \pm 0,07$ ng/cerveau. En ce qui concerne la 5-HT, les variations de chaque jour du stade ne sont pas significatives, et la teneur moyenne calculée chez les mâles (n=96) est de $2,40 \pm 0,14$ ng/cerveau et pour les femelles (n=81) $2,07 \pm 0,09$ ng/cerveau. La comparaison des moyennes entre mâles et femelles pour ces deux amines ne donne aucune différence significative. Pour la suite de nos expérimentations, nous avons donc utilisé des larves du cinquième stade prélevées dans un même lot et ce, sans séparer les mâles des femelles.

- Conséquences du traitement par le lindane sur les teneurs en dopamine et 5-HT dans le cerveau de larves du 5^e stade.

Tableau I. Concentrations en dopamine et 5-Hydroxytryptamine dans le cerveau de *Locusta migratoria* au cours du dernier stade larvaire.

Jours du stade	Dopamine	A		5-hydroxytryptamine	n
			n		
1	$1,04 \pm 0,06$		16	$2,18 \pm 0,18$	9
2	$1,12 \pm 0,18$		13	$1,77 \pm 0,24$	10
3	$1,40 \pm 0,11$		30	$2,40 \pm 0,23$	19
4	$1,37 \pm 0,14$		22	$1,72 \pm 0,23$	14
5	$1,05 \pm 0,11$		19	$2,09 \pm 0,17$	17
6	$1,30 \pm 0,20$		9	$2,24 \pm 0,18$	8
7	$1,18 \pm 0,16$		9	$1,81 \pm 0,57$	4
Kruskal-Wallis	$8,173^*$ (ddl = 6)			$7,131^*$ (ddl = 6)	

Jours du stade	Dopamine	B		5-hydroxytryptamine	n
			n		
1	$1,03 \pm 0,06$		18	$2,19 \pm 0,25$	6
2	$1,42 \pm 0,21$		11	$2,06 \pm 0,30$	10
3	$1,11 \pm 0,09$		33	$2,41 \pm 0,30$	29
4	$1,34 \pm 0,19$		30	$2,10 \pm 0,33$	22
5	$1,23 \pm 0,18$		16	$2,50 \pm 0,39$	14
6	$1,57 \pm 0,27$		9	$3,29 \pm 0,46$	9
7	$1,45 \pm 0,36$		6	$2,58 \pm 0,34$	5
Kruskal-Wallis	$8,173^*$ (ddl = 6)			$6,913^*$ (ddl = 6)	

(A) : femelles; (B) : mâles.

Les valeurs sont exprimées en ng/cerveau ($x \pm$ erreur standard à la moyenne avec n échantillons).

* pas de différence significative à chaque jour du stade.

Les larves sont intoxiquées avec une dose correspondant au «Knock-Down» 50 soit 3 $\mu\text{g/g}^{-1}$. Dans ces conditions, on observe une augmentation significative de la dopamine : $2,41 \pm 0,05$ ng et de la 5-Hydroxytryptamine : $5,83 \pm 0,50$ ng par rapport aux témoins où les valeurs sont respectivement de $1,16 \pm 0,02$ ng et $2,15 \pm 0,05$ ng. (Tableau II) [22]. Nos résultats peuvent être rapprochés de travaux antérieurs [24] montrant une diminution d'activité de la N-acétyltransférase après intoxication au lindane. La N-acétylation étant la voie primaire du catabolisme des amines biogènes dans le système nerveux central des insectes [25] [26] [27], on pouvait envisager que l'élévation de taux de ces amines biogènes puisse être corrélée à cette inhibition enzymatique. Nous avons donc entrepris la recherche des dérivés acétylés de la dopamine et de la 5-Hydroxytryptamine dans le cerveau de *Locusta migratoria*.

- Effets de l'intoxication par le lindane sur les concentrations en N-acétyldopamine et N-acétyl 5-Hydroxytryptamine dans le cerveau de *Locusta migratoria*.

La détection et la quantification des métabolites acétylés a nécessité au préalable l'incubation des ganglions cérébroïdes dans un milieu contenant du Ringer [28] additionné de glucose, tréhalose [29] et de 25 ng de 5-HT. Le potentiel appliqué au niveau de l'électrode de travail est de 0,500 V. Le pH est ajusté à 5 avec une solution d'hydroxyde de sodium 1N. Les taux moyens de N-acétyldopamine sont de 1,59 ng/cerveau et de 1,43 ng/cerveau pour la N-acétyl 5-hydroxytryptamine chez les témoins. L'administration de lindane par application topique de 3 $\mu\text{g.g}^{-1}$ de lindane affecte de façon significative ces taux. Nous observons une diminution significative à la fois de la N-acétyldopamine (0,65 ng/cerveau) et de la N-acétyl 5-Hydroxytryptamine (0,66 ng/cerveau). Dans nos conditions expérimentales, l'augmentation significative des teneurs en dopamine et 5-hydroxytryptamine cérébrale peut donc être corrélée à une diminution d'activité de la N-acétyltransférase [30].

Tableau II. Effets du lindane ($3\mu\text{g.g}^{-1}$) sur les concentrations en dopamine et 5-Hydroxytryptamine du cerveau de *Locusta migratoria* au dernier stade larvaire.

Lots	Dopamine	n	5-hydroxytryptamine	n
Témoins	$1,16 \pm 0,02$	14	$2,15 \pm 0,05$	14
Lindane	$2,41 \pm 0,05^*$	14	$5,83 \pm 0,50^*$	14

Les valeurs sont exprimées en ng/organe ($x \pm$ erreur standard à la moyenne avec n échantillons).

* différence significative par rapport aux témoins; $P < 0,001$.

Effet sur la reproduction

Peu de recherches fondamentales ont été consacrées au mode d'action du lindane sur la reproduction des insectes. Seuls, les travaux de Ramade [1] constituent l'ouvrage de référence. Cet auteur démontre que chez la mouche domestique, *Musca domestica*, de faibles doses de lindane appliquées en intoxication aiguë stimulent la fécondité et la fertilité des survivants, ce qui permet un accroissement en valeur absolue de la population à la génération suivante. C'est ainsi que fut entreprise par Breton [31] une étude sur l'effet de faibles

doses de lindane en intoxication subchronique sur le potentiel reproducteur de *Locusta*. Il a été constaté que l'application quotidienne de 1 µg de lindane durant les quinze premiers jours de la vie imaginaire avait pour conséquence d'augmenter la production d'œufs chez le criquet migrateur, ce qui pose le problème de l'emploi de ces substances pour lutter contre ces insectes.

Conclusion

La connaissance du mode d'action des insecticides revêt donc une importance considérable non seulement pour la compréhension des processus physiologiques fondamentaux chez les insectes mais aussi parce qu'elle est susceptible de faire progresser la recherche appliquée en matière de mise au point de nouvelles substances insecticides plus efficaces et ayant un moindre impact sur les organismes non cibles.

Références

1. Ramade F. (1967). Contribution à l'étude du mode d'action de certains insecticides de synthèse, plus particulièrement du lindane et des phénomènes de résistance à ces composés chez *Musca domestica* L. *Annls Inst natn Agron Paris*; 5 : 1-268.
2. Pasquier R. (1947). Séméiologie de l'intoxication de *Schistocerca gregaria* par l'H.C.H. *Bull off natn ant-acrid Alger*; 2 : 5-22.
3. Moreteau B, Ramade F. (1979). Lésions ultrastructurales des *corpora cardiaca* d'un insecte, *Locusta migratoria* (Orthoptère) intoxiqué par le lindane. *Zool Jb Physiol*, 83 : 340-349.
4. Moreteau B, Ramade F. (1980). Effets de l'intoxication par le lindane sur les *corpora allata* de *Locusta migratoria* (Orthoptère). *Experientia*, 36 : 1233-1235.
5. Schooneveld H. (1979). Precocene-induced collapse and resorption of *corpora allata* in nymphs of *Locusta migratoria*. *Experientia*, 35 : 363-364.
6. Moreteau B, Chaminade N. (1983). Effets de quatre insecticides de contact (lindane, fenthion, baygon et deltaméthrine) sur la glycémie et la tréhalosémie au cours du dernier stade larvaire de *Locusta migratoria* L. (Orthop. Acrididae). *Annls Soc ent Fr (NS)*, 19 : 433-439.
7. Samaranayaka M. (1974). Insecticide-induced release of hyperglycaemic and adipokinetic hormones of *Schistocerca gregaria*. *Gen Comp Endocrinol*, 24 : 424-436.
8. Orr GL, Downer RGH. (1982). Effect of lindane (gamma-hexachlorocyclohexane) on carbohydrate and lipid reserves in the American cockroach, *Periplaneta americana* L. *Pestic Biochem Physiol*, 17, 89-95.
9. Granett J, Leeling NC (1971). Trehalose and glycogen depletion during DDT poisoning of american cockroaches, *Periplaneta americana*. *Ann entomol Soc America*, 64 : 784-789.
10. Granett J, Leeling NC. (1972). A hyperglycaemic agent in the serum of DDT prostrate American cockroaches, *Periplaneta americana*. *Ann entomol Soc America*, 65 : 299-302.
11. Samaranayaka M. (1976). Possible role of involvement of monoamines in the release of adipokinetic hormone in the locust, *Schistocerca gregaria*. *J. Exp Biol* 65 : 414-425.
12. Goldworthy GJ (1969). Hyperglycaemic factors from the corpus cardiacum of *Locusta migratoria*. *J Insect Physiol*, 15 : 2131-2140.
13. Cazal M. (1971). Action des *corpora cardiaca* sur la tréhalosémie et la glycémie de *Locusta migratoria* L. *CR Acad Sc, Paris*; 272 : 2596-2599.
14. Evans PD. (1980) Biogenic amines in the insect nervous system. *Adv Insect Physiol*, 15 : 317-473.

15. Kostowski W, Tarchalska B, Wanchowicz B. (1975). a-Brain catecholamines, spontaneous bio-electrica activity and aggressive behavior in ants (*Formica rufa*). Pharmacol Biochem Behav, 3 : 337-342.
16. Kostowski W, Tarchalska-Krynska B, Markowska L. (1975). b-Agressive behavior and brain serotonin and catecholamines in ants (*Formica rufa*). Pharmacol Biochem Behav, 3 : 717-719.
17. Livingstone MS, Harris-Warrick RM, Kravitz EA (1980). Serotonin and octopamine produce opposite postures in lobsters. Science, 208 : 76-79.
18. Muszynska-Pytel M, Cymborowski B. (1978). a-The role of serotonin in regulation of the circadian rhythms of locomotor activity in the cricket (*Acheta domesticus* L.) I. Circadian variations in serotonin concentration in the brain and hemolymph. Comp Biochem Physiol, 59C : 13-15.
19. Muszynska-Pytel M, Cymborowski B. (1978). b-The role of serotonin in regulation of the circadian rhythms of locomotor activity in the cricket (*Acheta domesticus* L.) II. Distribution of serotonin and variations in different brain structure. Comp Biochem Physiol, 59 C : 17-20.
20. Aldegunde M, Parafita M, Otero MPE. (1983). Effect of-hexachlorocyclohexane on serotonin metabolism in rat brain. Gen Pharmacol, 14 : 303-305.
21. Sloyer BD, Bailey BA, Downer RGH. (1985). Effects of chlordimeform and lindane on monoamine levels in the central nervous system of the american cockroach, *Periplaneta americana* L. Pestic Biochem Physiol, 24 : 213-219.
22. Moreteau B, Chaminade N. (1988). Effets de l'intoxication par le lindane sur les concentrations en dopamine et 5-Hydroxytryptamine dans le cerveau de *Locusta migratoria* L. (Orthop. Acrididae). Anns Soc ent Fr (NS), 24 : 103-109.
23. Hiripi L, S-Rózsa K. (1973). Fluorimetric determination of 5-Hydroxytryptamine and catecholamines in the central nervous system and heart of *Locusta migratoria migratorioïdes*. J Insect Physiol, 19 : 1481-1485.
24. Allais JP, Gripois D, Moreteau B, Ramade F. (1979). N-acetylation enzymatique de la tryptamine par des homogénats de cerveaux de *Locusta migratoria* avant et après intoxication par le chlordimeform ou le lindane. Experientia, 35 : 1357-1359.
25. Dewhurst SA, Croker SG, Ikeda K, Mc Caman RE. (1972). Metabolism of biogenic amines in *Drosophila* nervous tissue. Comp Biochem Physiol, 43 B : 975-981.
26. Evans PH, Fox PM. (1975). Enzymatic N-acetylation of indolalkylamines by brain homogenates of the honey bee, *Apis mellifera*. J Insect Physiol, 21 : 343-353.
27. Evans PH, Soderlund DM, Aldrich JR. (1980). *In vitro* N-acetylation of biogenic amines by tissues of the European corn borer, *Ostrinia nubilalis* Hübner. Insect Biochem, 10 : 375-380.
28. Yamasaki T, Narahashi T. (1960). Synaptic transmission in the last abdominal ganglion of the cockroach. J Insect Physiol, 4 : 1-13.
29. Downer RGH. (1979). Trehalose production in isolated fat body of the american cockroach, *Periplaneta americana*. Comp Biochem Physiol, 62 C : 31-34.
30. Moreteau B, Chaminade N. (1990). The effects of lindane poisoning on N-acetyldopamine and N-acetyl 5-Hydroxytryptamine concentrations in the brain of *Locusta migratoria* L. Ecotoxicol Environ Saf, 20 : 115-120.
31. Breton P. (1988). Effets neurotoxiques du lindane sur la reproduction du criquet migrateur: *Locusta migratoria* L. Diplôme d'Etudes Approfondies de Toxicologie de l'Environnement, Université de Rouen; 56 p.

14

Caractères écotoxicologiques et impact environnemental potentiel des principaux insecticides utilisés dans la lutte anti-acridienne

F. RAMADE

Professeur d'Ecologie et de Zoologie à l'Université de Paris-Sud, 91405 Orsay, France

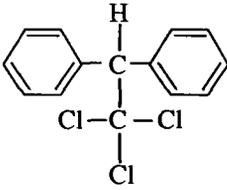
Depuis l'avènement des insecticides organiques de synthèse, à la fin de la deuxième guerre mondiale, de nombreuses substances actives ont été utilisées dans la lutte contre les criquets migrateurs. Ces dernières appartiennent aux quatre grandes catégories d'insecticides : organochlorés, esters phosphoriques, carbamates et pyréthroides de synthèse (fig. 1).

Parmi les organochlorés, deux types d'insecticides ont reçu une application importante : l'HCH dont le principe actif est l'isomère ou Lindane, et un cyclopentadiène chloré, la Dieldrine. Ainsi, par exemple, au Maroc, en 1954 quelques 5000 tonnes d'HCH furent utilisées dans la vallée du Sous pour lutter contre une invasion de criquets (Smirnoff, 1955). Avant son interdiction dictée par des raisons de nature écotoxicologique, la dieldrine a longtemps été employée avec un incontestable succès pour contrôler les populations relictuelles de criquets dans leurs aires grégarigènes. En réalité toute une série d'organochlorés y compris le DDT et le redoutable Endrine furent autrefois employés contre les invasions d'acridiens migrateurs.

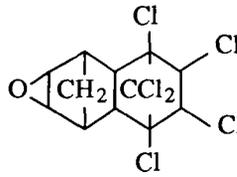
En ce qui concerne les Esters phosphoriques, le Parathion et ses congénères et en date plus récente, le Malathion, le Dichlorvos et le Fénitrothion ont donné lieu à un vaste usage. Les carbamates ont été également employés, quoique dans une moindre mesure, Carbaryl et Propoxur en particulier.

Enfin la dernière catégorie d'insecticide, la plus récente, celle des pyréthroides de synthèse, a également été utilisée à vaste échelle lors de la dernière invasion de criquets pèlerins : ainsi, la Deltaméthrine, le plus puissant composé insecticide faisant l'objet d'un

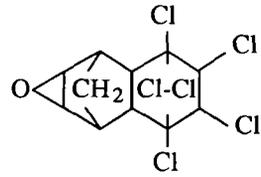
DDT



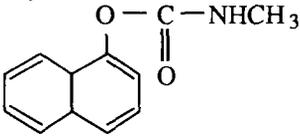
Dieldrine



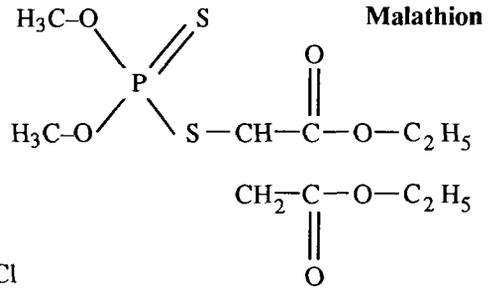
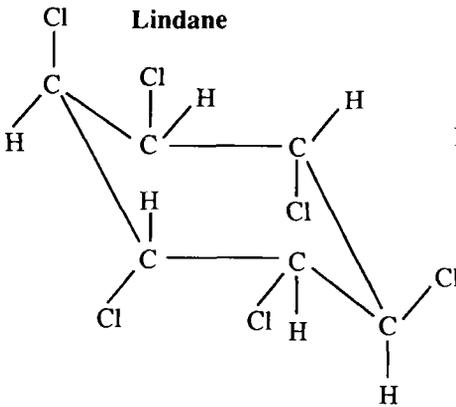
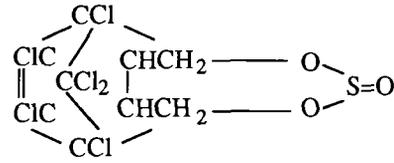
Endrine



Carbaryl



Endosulfan



Méthyl-Parathion

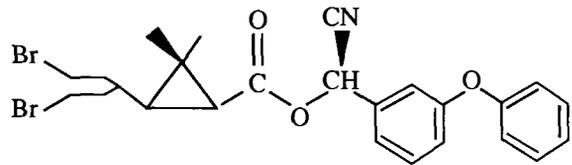
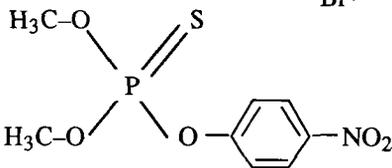


Figure 1. Formule chimique des principaux pesticides utilisés dans la lutte acricide.

usage commercial (ses doses d'emploi sont à peine de 5 g à 15 g par hectare) a été employée sur de vastes surfaces. Cette substance, en égard à sa faible toxicité per os pour les Vertébrés à sang chaud et donc pour l'homme, est particulièrement recommandée dans les zones, envahies par les criquets, où existent des cultures alimentaires.

Enfin, on a de plus fait recours à titre expérimental à des «régulateurs de croissance» des Arthropodes, du type Diflubenzuron, lesquels présentent une forte spécificité pour ce groupe d'invertébrés.

Insecticides et environnement

Pendant trop longtemps, les spécialistes de la lutte contre les insectes ravageurs ont — à tort — considéré que l'usage des insecticides dans les divers écosystèmes où ils peuvent être répandus se traduisait par la relation :

Insecticides → Ravageur + quelques effets secondaires

En fait, cette relation est absolument erronée et doit être remplacée par la suivante :

Insecticide → Ensemble de l'écosystème

La contamination des biotopes par les pesticides affecte non seulement l'ensemble des compartiments des milieux traités : cultures p.e. mais encore contamine des zones qui dans certains cas peuvent être situées fort loin des régions d'épandage.

La figure 2 représente le schéma général de dispersion des pesticides. On constate qu'au moment de la dispersion d'un insecticide, les brouillards de traitement, les phénomènes d'évaporation, ceux de codistillation avec la vapeur d'eau amènent une fraction importante de ces derniers bien au delà de la zone traitée. On peut estimer qu'au mieux 50% de la quantité d'insecticide utilisée atteint la surface visée mais en réalité, lorsqu'il s'agit de traitements destinés à atteindre les parties aériennes des végétaux, seule une fraction de l'ordre d'une dizaine de pourcents reste réellement sur les feuilles et... moins de 0,1% de la matière active atteint réellement le ravageur (Pimentel et Levitan, 1986).

En conséquence au travers de l'infiltration dans les sols qu'ils contaminent, et au travers du ruissellement, les eaux continentales et les nappes phréatiques sont contaminées. Cette contamination peut même affecter les eaux marines côtières, voire des zones océaniques reculées par suite du transfert atmosphérique pour les substances les plus stables. Ainsi, l'air de l'océan indien occidental renferme 40 fois plus de DDT que celui de l'Atlantique Nord car cet insecticide est toujours largement utilisé en Arabie Saoudite alors qu'il est interdit dans les pays industrialisés de l'Ouest. De même des particules de sol saharien renfermant du DDT utilisé en Afrique Septentrionale contre les criquets furent retrouvées retombant sur les Iles Barbades à quelques 6000 km de là au cours des années 60 (Rizebrough et Huggett, 1968). Pis encore, des traces d'insecticides organochlorés sont détectables dans l'atmosphère du continent antarctique et ont été décelées dans les neiges tombant à l'emplacement même du pôle sud (Peterlee, 1969).

Incorporation des insecticides à la biomasse

A l'intérieur des écosystèmes, les insecticides vont être incorporés à la biomasse. En effet, ils vont passer du sol dans les végétaux puis dans l'ensemble du réseau trophique de consommateurs selon le schéma :

Sol → Herbivore → Carnivore 1 → Carnivore 2

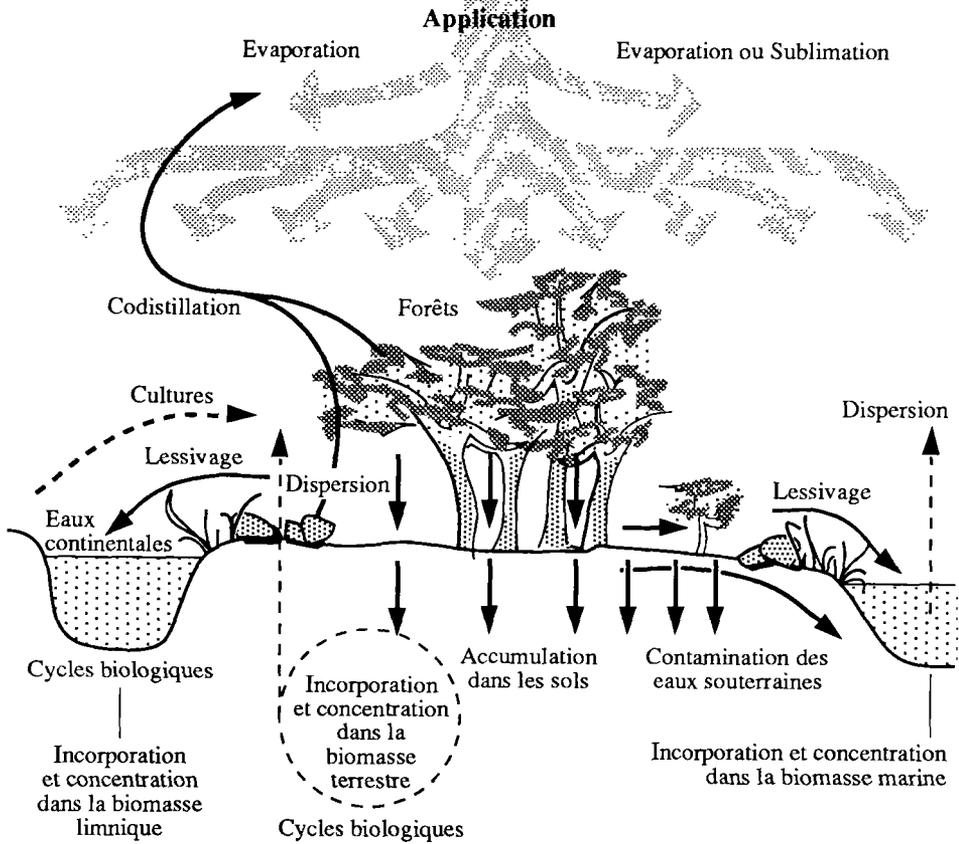


Figure 2. Schéma général de la dispersion des insecticides dans les écosystèmes (d'après F. Ramade, Ecologie appliquée, 1989; 200).

On va assister à un phénomène de bioconcentration dans les êtres vivants, l'insecticide passant ensuite d'un maillon à l'autre par le jeu des relations trophiques. Dans le cas des insecticides persistants, on peut même assister à des phénomènes de bioamplification, ici la concentration de l'insecticide dans ces organismes va s'accroître quand on s'élève dans la pyramide trophique. Ce cas a été p.e. très bien documenté dans le cas de la Dieldrine ou de l'aldrine dans la chaîne trophique suivante :

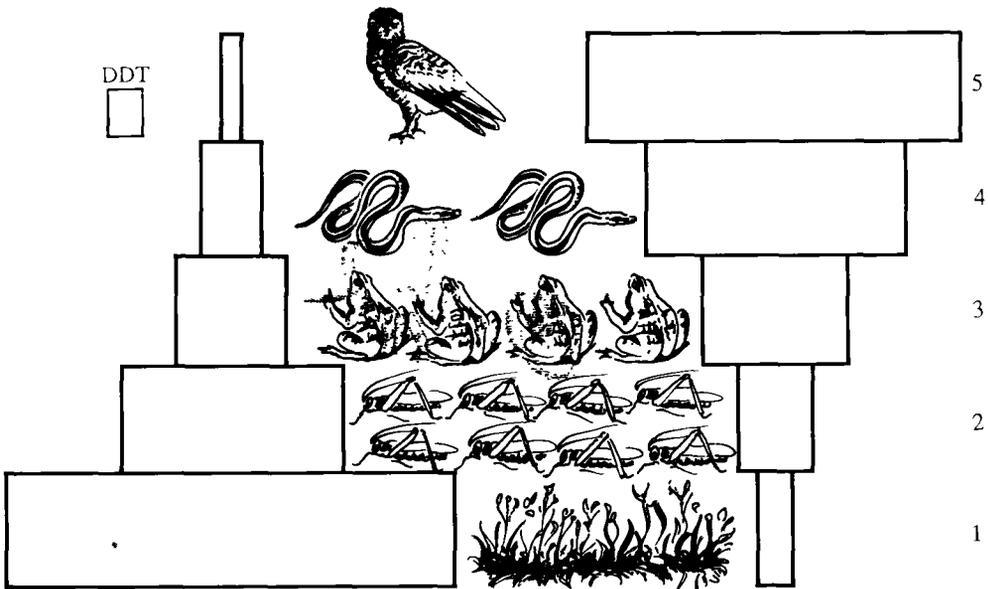
Sol	débris végétaux	vers de terre (<i>Allobophora caliginosa</i>)	crapaud (<i>Bufo americanus</i>)	Serpent (<i>Tamnophis sertalis</i>)
niveau trophique I		II	III	IV

On peut alors définir un facteur de transfert (Ft) rapport de la concentration de l'insecticide dans les organismes de niveau trophique n+1 à celle dans les organismes de niveau trophique n avec la relation :

$$Ft = [n+1] / [n]$$

Il est clair que si Ft > 1, l'on assistera à une augmentation de concentration au fur et à mesure que l'on s'élève dans la pyramide trophique (fig. 3) ; si Ft = 1, il y aura simple transfert et si Ft < 1, il y aura décroissance.

Ces considérations sont évidemment aussi valables pour les réseaux trophiques aquatiques à ceci près que dans les biotopes dulçaquicoles ou marins, l'absorption directe au travers des téguments et des branchies est pour les faibles concentrations auxquelles les insecticides contaminent les eaux généralement plus importante que celle par voie alimentaire. Cependant, comme les deux phénomènes conjuguent leurs effets, on peut atteindre dans les communautés aquatiques des facteurs de concentration, rapport de la concentration de l'insecticide dans la chair d'un organisme aquatique par rapport à celle dans l'eau, beaucoup plus importants qu'en milieu terrestre. Il est ainsi possible d'observer dans les lombrics p.e. un facteur de concentration 150 fois supérieur à celle observée dans les sols. En milieu aquatique, ce dernier peut atteindre 100 000 avec cet insecticide chez des mollusques phytoplanctonophages (Moules p.e.). Le record est sans doute détenu pour le DDT avec des poissons des grands lacs Nord américains dont un Omble (*Salvelinus*



Pyramide des biomasses

Pyramide des concentrations

Figure 3. Représentation de la pyramide des biomasses (à gauche) et des concentrations d'insecticide (à droite) dans le cas où se produit une bioamplification (d'après F. Ramade. Ecotoxicologie, Masson, 1979; 74).

namayacush) qui a pu concentrer cet insecticide à une concentration 4 400 000 fois supérieure à celle à laquelle il se trouve dans l'eau des Grands Lacs (Tableau I).

Conséquences écotoxicologiques de l'usage des insecticides

Quel peut être l'impact des pesticides sur les écosystèmes ? Nous distinguerons des effets démoécologiques (sur les populations) et des effets plus subtils que nous dénommerons biocoénologiques.

Les effets démoécologiques se traduisent soit de façon directe par la mortalité des populations concernées, soit de façon indirecte par des perturbations affectant la reproduction, la croissance, le comportement de survie face aux prédateurs et qui provoquent de façon différée une régression des populations des espèces les plus sensibles.

A l'intérieur des agroécosystèmes, les insecticides ne détruisent pas seulement les ravageurs mais aussi le cortège de l'entomocoenose d'insectes prédateurs et parasites qui limitent les populations des espèces nuisibles. Ainsi, l'usage du DDT sur les agrumes s'est autrefois traduit par une prolifération des cochenilles car cet insecticide tuait aussi les hyménoptères et autres parasites de ces homoptères (fig. 4).

Ces ruptures d'équilibre biologique expliquent aussi pourquoi les insectes nuisibles se mettent à pulluler sitôt que l'on effectue un traitement insecticide (fig. 5).

Les traitements insecticides présentent aussi un autre type d'impact néfaste à l'intérieur même des agroécosystèmes, lié à leur forte toxicité pour les insectes pollinisateurs des cultures. Le législateur a d'ailleurs pris soin d'édicter des réglementations destinées à protéger les abeilles domestiques. Cependant, outre que ce type de législation n'est pas toujours bien respecté, il faut savoir qu'elle ne concerne que certaines plantes cultivées. En effet, bien d'autres espèces végétales — telles la luzerne p.e. — ne sont pas fécondées par les abeilles car elles ne sont pas capables de butiner leurs fleurs au calice trop profond. Ce

Tableau I. Facteurs de concentration relevés pour les insecticides organochlorés chez diverses espèces de téléostéens dulçaquicoles d'Amérique septentrionale (in Ramade, Les Catastrophes écologiques, 1987, Mac Graw Hill).

DDT	DDE	Dieldrine	Endrine	Chlordane	Lindane	Heptachlore
63 000 (1)	180 000 (6)	5 800 (1)	4 100 (1)	11 400 (1)	321 (1)	17 400
84 500 (1)		63 300 (7)	3 700 (3)	37 800 (2)	180 (2)	9 500
260 000						
4 400 000 (4)		12 000 (8)	6 300 (3)	8 300 (1)	550 (3)	4 900 (10)
1 100 000 (5)				16 900 (9)		

- (1) *Pimephales promelas* : 28 j d'exposition (labo)
- (2) *Idem* : 32 j d'exposition
- (3) *Ictalurus melas* : 32 j d'exposition
- (4) *Salvellinus namayacush* : population naturelle
- (5) *Perca flavescens* des grands lacs : population naturelle
- (6) *Salmo irideus* : 108 j d'exposition (labo)
- (7) *Idem* : 153 j d'exposition
- (8) *Lebistes reticulatus* : 32 j d'exposition (labo)
- (9) *Cyprinodon variegatus* : 109 j d'exposition
- (10) *Idem* : 88 j d'exposition (labo)

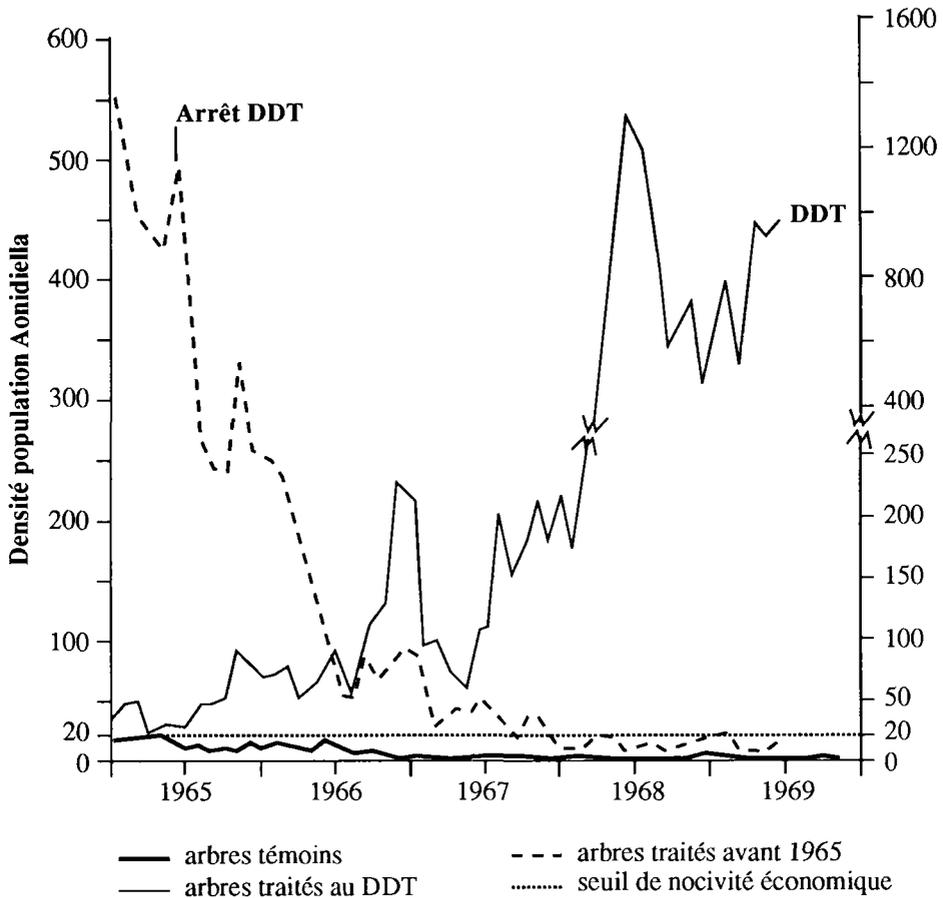


Figure 4. Exemple de déséquilibres biologiques induits par un insecticide. Ici, l'usage du DDT en détruisant les prédateurs et parasites de la cochenille des agrumes (*Aonidiella aurantii*) provoque sa multiplication. A l'opposé, la suppression du traitement insecticide se traduit par une diminution des effectifs du ravageur par restitution des équilibres biologiques (d'après De Bach et Coll in Ramade, Ecologie appliquée; 221).

rôle est dévolu aux Bourdons et (ou) à diverses espèces d'*Apoidea* solitaires (*Anthophora*, *Megachiles*, *Osmia*, etc). On a pu montrer p.e. (Tasei, 1985) que les doses usuellement requises pour le traitement des cultures avec divers insecticides organophosphorés et un organochloré, l'endosulfan, sont déjà très nocives pour *Megachile*. Aux Etats-Unis, il a pu être p.e. estimé que l'usage des insecticides, en détruisant de nombreuses populations de pollinisateurs, est la cause de fortes pertes de rendement par défaut de pollinisation, estimés à plus de 1,5 milliards de dollars par an (Pimentel et Andow, 1983).

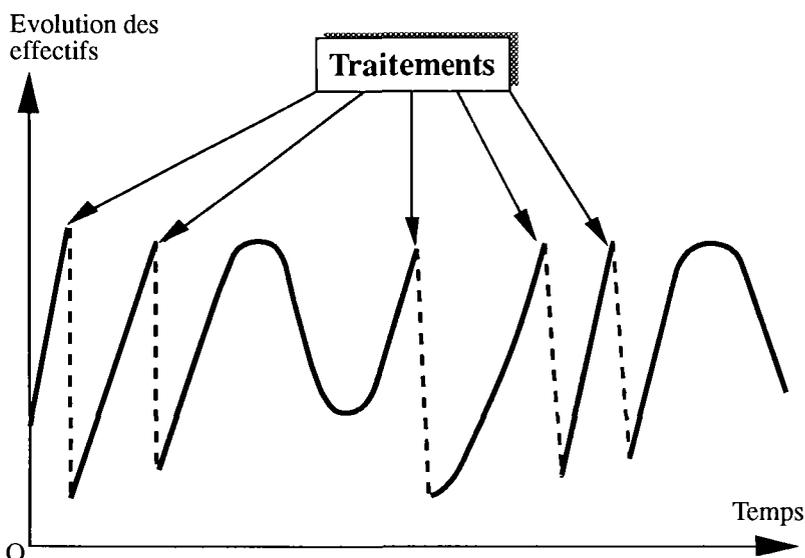


Figure 5. Effets des traitements insecticides sur les populations de ravageurs. Après la brutale chute des effectifs, on observe une remontée rapide de ces effectifs provoquée par la rupture des équilibres écologiques (in Ramade, 1973).

Les insectivores et autres espèces aviennes sont aussi victimes de mortalités liées à l'usage des insecticides. L'usage de divers esters phosphoriques leur est particulièrement néfaste par suite de leur toxicité aiguë. Il semblerait que l'acétylcholinestérase du système nerveux avien soit très vulnérable à l'inhibition due à ce groupe d'insecticides. Cela expliquerait le fait que les DL50, doses d'insecticides faisant périr 50% d'une population appartenant à une espèce donnée en 24 h, soient plus faibles pour les oiseaux que pour les Mammifères en règle générale.

Mais en outre, les oiseaux insectivores et prédateurs (rapaces ou piscivores) sont soumis à des risques de mortalité liés aux perturbations «biocoénologiques» induites par les pesticides. Outre les risques d'empoisonnement liés à la contamination de leur nourriture, en particulier celui des oisillons en période de reproduction, ces derniers peuvent périr par manque de nourriture si les traitements affectent de vastes surfaces au moment où les espèces sont en période d'élevage des jeunes. Cette désertion par les oiseaux insectivores des zones traitées par des insecticides avait déjà été observée dès le début des années 60. Ainsi, dans une zone steppique du Montana, aux Etats-Unis, traitée au carbaryl contre les criquets, Finley (1961) évaluait à 85% la diminution du peuplement avien liée essentiellement à l'émigration de ce dernier due à la disparition des insectes.

Dans les milieux aquatiques, les insecticides présentent souvent une toxicité aiguë élevée non seulement pour les arthropodes et autres invertébrés dulçaquicoles mais aussi pour les poissons. Le cas des pyréthroïdes de synthèse mérite d'être évoqué. En effet,

alors que ces substances sont très peu toxiques pour les vertébrés homéothermes, ils sont très toxiques pour les poissons, la DL50 étant souvent de l'ordre de 0,1 ppb (soit 0,1 mg par tonne d'eau !) pour les téléostéens duçaquicoles !

Parmi les effets différés liés à la pollution chronique des biotopes par les pesticides, il faut tout d'abord évoquer les troubles comportementaux. En effet, les pesticides sont des toxiques neurotropes qui vont avoir à faibles doses des effets neurologiques perturbant divers réflexes conditionnés. On a, par exemple, pu montrer chez des crabes des côtes nord américaines exposés à des doses non léthales de Téméphos, un insecticide organophosphoré utilisé dans la lutte contre les populations de moustiques, que le comportement d'évitement des prédateurs (oiseaux d'eau) était inhibé d'où plus forte mortalité dans la population contaminée. Chez les oiseaux, l'on a pu observer des modifications du comportement de parade nuptiale, d'accouplement et de ponte. Ainsi, des oiseaux exposés à une nourriture contaminée par de la Dieldrine, se mettaient à couvrir... en s'accroupissant à côté de leur nid !

La contamination chronique de nombreuses espèces de rapaces et d'oiseaux piscivores par des insecticides organochlorés a conduit certaines grandes espèces au bord de l'extinction.

A la fin des années 60 et au début des années 70, les populations de divers rapaces (aigles, faucons entre autres) et d'oiseaux ichtyophages dont certains pélicans nord américains, étaient décimées par des échecs systématiques de reproduction. Ainsi, les pélicans des Iles Anacapa, dans la baie de Los Angeles exposés à la bioconcentration du DDT dans leurs réseaux trophiques avaient été quasiment stérilisés. On dénombrait dans leur colonie, en 1969, sur 3000 couples reproducteurs seulement quelques oisillons à la fin de la saison de reproduction (Peakall, 1970).

Les échecs de reproduction des oiseaux contaminés par des insecticides organochlorés ont plusieurs causes. La première tient en une diminution de la fécondité, les femelles contaminées pondant moins d'œufs tandis que les mâles présentent des déficiences de spermatogénèse. En outre les œufs pondus par les femelles contaminées présentent une coquille peu ou pas calcifiée dans les cas extrêmes de sorte que ces œufs sont écrasés par les adultes pendant la couvaision. La preuve directe a été apportée dans des expériences menées en captivité mais aussi par l'étude de populations naturelles. Par exemple, le Faucon pèlerin a connu une considérable réduction de ses effectifs, liée à l'amincissement de sa coquille, en Angleterre, à partir de 1946, date à partir de laquelle les insecticides organochlorés furent introduits dans l'environnement britannique. A l'opposé, l'épaisseur de la coquille des œufs de cette espèce ainsi que ses effectifs se mirent à remonter dans la deuxième moitié des années 70 à la suite de l'interdiction de ce type d'insecticide en Grande Bretagne (fig. 6).

Dans le cas des intoxications à long terme, les principaux effets physiopathologiques des insecticides se traduisent par des effets comportementaux déjà évoqués liés aux troubles neuropsychiques induits et surtout par diverses perturbations neuroendocrines.

Ces dernières sont en particulier responsables des anomalies observées dans la croissance et le cycle vital des espèces exposées. Elles sont aussi la cause de graves dysfonctionnements de l'appareil reproducteur. Comme les insecticides actuels sont dans leur immense majorité des substances neurotropes, ils se fixent plus particulièrement dans le cerveau et autres centres nerveux majeurs (chez les invertébrés p.e.). Chez les vertébrés, il va s'ensuivre une perturbation de l'axe hypothalamo-hypophysaire d'où effets défavorables se traduisant par une diminution de la sécrétion des hormones sexuelles par les

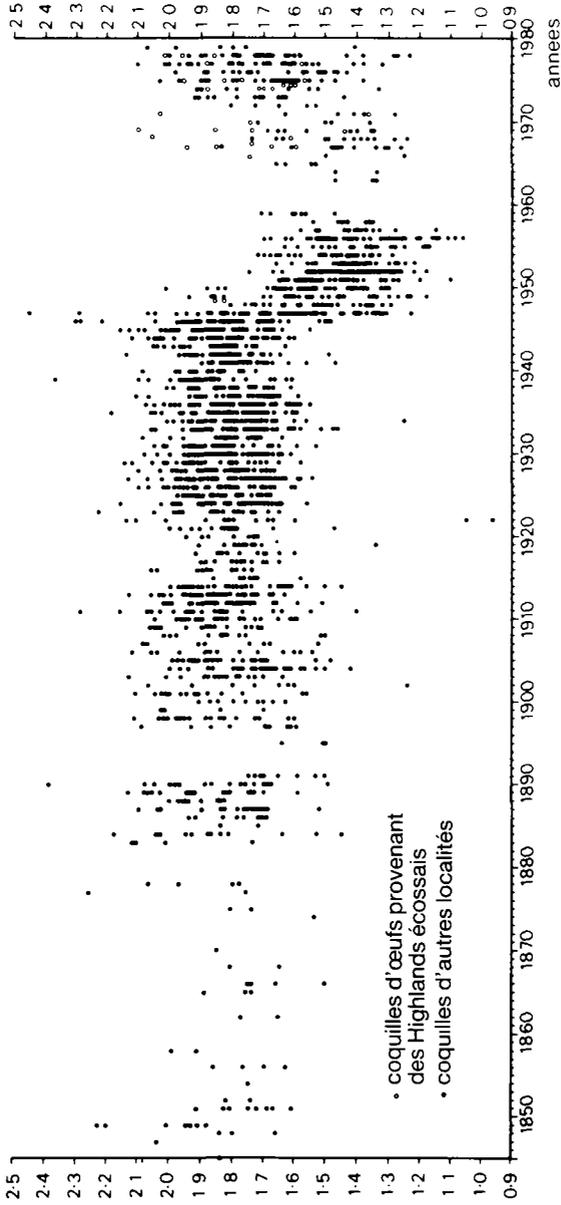


Figure 6. Variation d'épaisseur de la coquille des œufs de Faucon pèlerin en Angleterre et en Ecosse entre 1840 et 1980. on constate une subite diminution d'épaisseur à partir de 1946, date à partir de laquelle les insecticides organochlorés furent utilisés à vaste échelle dans ce pays et une récupération à partir du milieu des années 70 après leur interdiction (d'après Ratcliffe in Ramade, «Les Catastrophes écologiques», 1987).

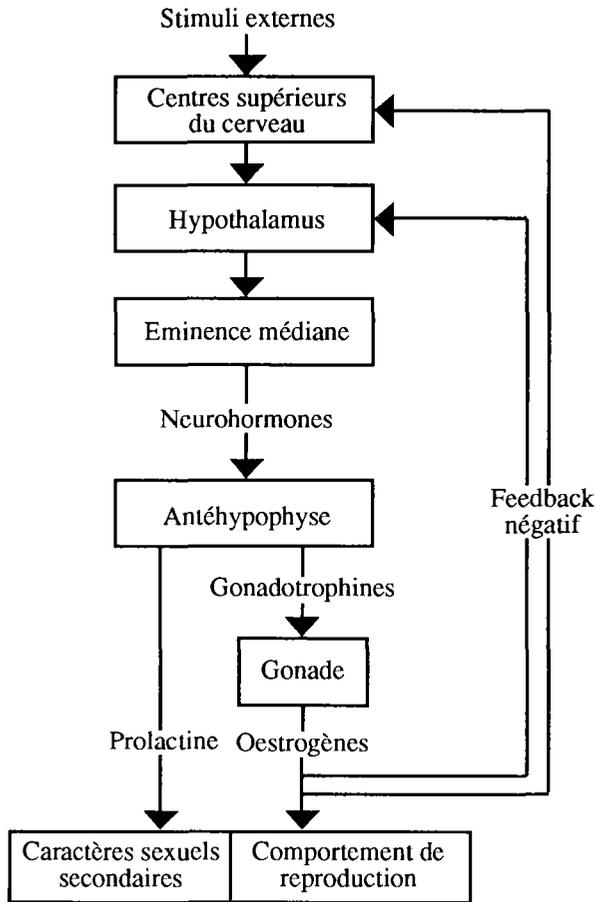


Figure 7. Corrélation Hypothalamo-Hypophysaire et régulations hormonales chez les Vertébrés (in F. Ramade, Ecotoxicologie).

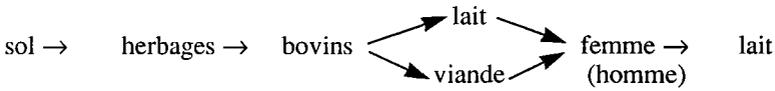
gonades, induisant divers troubles de la reproduction et chez les oiseaux de la couvaison (fig. 7).

Par ailleurs, les intoxications à long terme avec les insecticides perturbent d'autres systèmes endocrines. Dans des expérimentations d'intoxication per os menées pendant plus d'un an, il nous a, par exemple, été possible de démontrer que le Lindane et un insecticide organophosphoré, le Fenthion, inhibaient la synthèse d'adrénaline dans les surrénales de souris et provoquaient diverses lésions histopathologiques du Cortex surrénalien de cette espèce (fig. 8).

Toxicologie humaine

L'usage des insecticides et de façon plus générale des pesticides, provoque une morbidité et même une mortalité non négligeables parmi les exploitants agricoles et de façon plus générale chez les personnes qui sont professionnellement exposées. Il était estimé par l'OMS au début des années 70, que quelques 500 000 personnes par an (jusqu'à 1 400 000 selon certaines estimations) étaient intoxiquées dans l'ensemble du monde par l'usage de ces substances (Coplestone, 1977). Parmi ces dernières, le nombre de morts devait excéder largement la dizaine de milliers lorsque l'on sait qu'en 1974, pour les seules Roumanie, Syrie et Turquie, on comptait alors 628 morts officiellement recensés parmi les utilisateurs. Les insecticides sont susceptibles de subir une bioconcentration voire une bioamplification dans les chaînes trophiques de l'homme.

Ainsi, avec les composés organochlorés a-t-on pu relever ce phénomène dans la chaîne alimentaire suivante :



Avec le DDT (fig. 9), au début des années 80, aucun des laits maternels, provenant de nombreux pays tant industrialisés que du Tiers-Monde, ne renfermaient des concentrations de cet insecticide dans les lipides inférieures à la CMA édictée par l'OMS. Ceci signifie de façon plus évidente que si le lait de femme avait été du lait de vache, il aurait dû être interdit de commercialisation dans ces pays! Bien entendu, il ne faut pas s'étonner dans de telles conditions que des placenta analysés renfermaient des résidus de DDT et d'HCH et dérivés en concentration non négligeables (Rosival *et al.*, 1983).

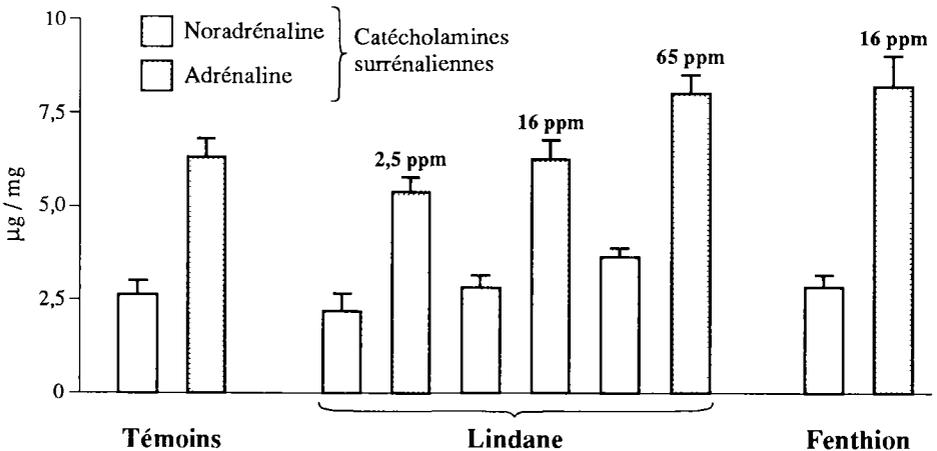


Figure 8. Effets du Lindane et du Fenthion sur l'activité surrénalienne de la souris (d'après Roffi et Ramade, Bull Soc Zool Fr, 1981; 2 : 171).

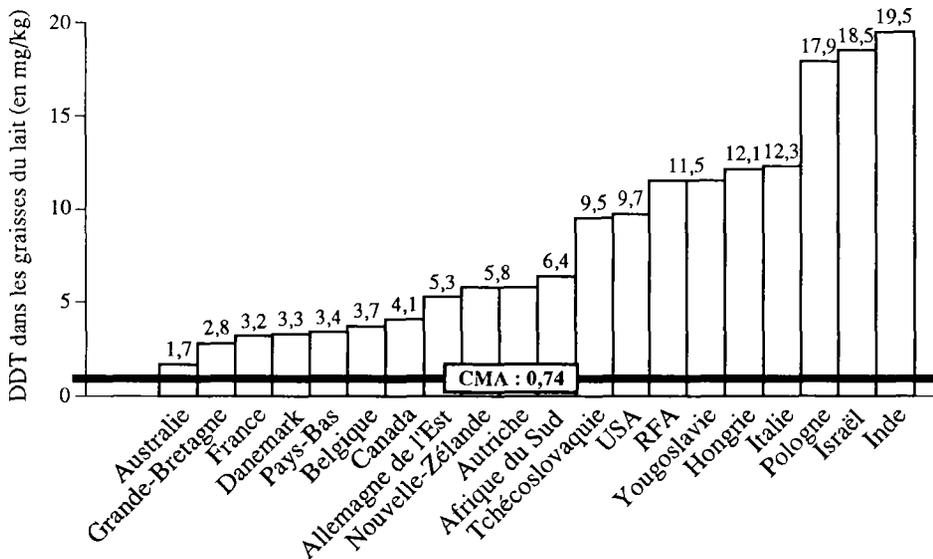


Figure 9. Concentration du DDT dans les lipides du lait maternel dans un ensemble de pays en 1980 (in Ramade, Les Catastrophes écologiques, 1987, Mac Graw Hill).

Bien que des discussions subsistent sur les risques pathologiques résultant de l'exposition à long terme par des pesticides, un certain nombre de données sont expérimentalement acquises. Elles mettent en évidence en particulier les potentialités en tant que co-carcinogènes de certains insecticides en particulier ceux du groupe des cyclopentadiènes chlorés. Ainsi, le Chlordane et l'Heptachlore ont révélé un pouvoir promoteur considérable pour les effets cancérogènes induits par la diéthylnitrosamine chez le rat (Williams et Numoto, 1985).

D'autres investigations ont aussi montré que certains organophosphorés et Carbamates étaient des mutagènes et (ou) de co-carcinogènes potentiels.

En conclusion, la recherche dans le domaine de la lutte contre les acridiens, en particulier, et contre les insectes ravageurs, en général, a aujourd'hui encore un immense effort à accomplir afin que soient isolées des substances nouvelles plus sélectives, non seulement de toxicité spécifique des insectes, mais même qui n'affecteraient pas les prédateurs et parasites des espèces nuisibles.

Bibliographie générale

- Ramade F. (1989). Ecologie appliquée. Mc Graw Hill, Paris 4^e éd, pollution par les pesticides : 192 et suiv., 241 et suiv.
 Ramade F. Les catastrophes écologiques. Mc Graw Hill, la pollution par les composés organiques persistants : 212 et suiv.

15

Problématique de l'utilisation des insecticides chimiques dans la lutte anti-acridienne au Sahel

ABOU THIAM

Institut des sciences de l'environnement, faculté des sciences, université C.A. DIOP, Dakar, Sénégal

Introduction

La production agricole des pays du Sahel, déjà sérieusement éprouvée par les sécheresses périodiques, l'érosion des sols, la désertification accélérée, doit aussi faire face depuis un certain temps, à un autre fléau très grave : l'invasion des acridiens.

Au Sahel, criquets et sauteriaux sont des fléaux anciens. En période d'invasion, larves et groupes d'insectes adultes détruisent sur leur passage cultures, pâturages, arbres, etc.

Chaque jour, un acridien consomme l'équivalent de son propre poids en matières végétales fraîches.

Dans le passé la lutte contre les acridiens a été organisée par les paysans de diverses manières :

- prières, sacrifices, offrandes, etc.
- production de bruits violents : tambours, cris, etc.
- destruction des insectes par le feu et la fumée.

Actuellement, les produits chimiques constituent le moyen le plus utilisé pour combattre ces insectes (traitement au sol et par les avions). Nous ne nions pas l'intérêt de cette lutte. Elle pose cependant un certain nombre de problèmes et d'interrogations au plan de la santé des hommes, des animaux et de l'environnement que nous ne devrions pas occulter.

Dans un rapport récent du PRIFAS/CIRAD [1] est dit ceci, je cite : «L'épandage de millions de litres d'insecticides pour lutter contre le criquet pèlerin (*Schistocerca gregaria*, Forskal, 1775) sur de vastes étendues ne peut pas rester sans effet sur les écosystèmes sahéliens et sahariens. Tout le monde s'accorde sur ce point, mais les moyens d'évaluer

ces impacts et de contrôler les aspects les plus négatifs sont très mal connus ou difficilement applicables dans le contexte de la lutte contre une invasion généralisée du criquet pèlerin.»

Nous avons tenu dans la présente note à faire part de nos observations et préoccupations en matière d'impacts des produits chimiques utilisés dans la lutte anti-acridienne sur la santé des hommes et des animaux ainsi que sur l'environnement. Pour cela nous aborderons successivement :

- Quelques données sur le Sahel et le problème acridien
- Les pesticides chimiques et leur utilisation dans la lutte anti-acridienne. Dans ce dernier point nous aborderons notamment la problématique de l'utilisation des pesticides dans la lutte contre les acridiens

Quelques données sur le Sahel et le problème acridien

Le Sahel

Le Sahel est une région géographique qui couvre une zone considérable en Afrique de l'ouest entre la limite sud du désert du Sahara et la limite nord des savanes guinéennes (fig. 1). Il s'étend sur une longueur de près de 6000 km et une largeur de 500 km, ce qui correspond approximativement à la zone comprise entre les isohyètes de 100 mm et 500 mm. Les spécialistes divisent souvent la zone en trois types d'écosystèmes :

- à la limite Nord une zone dite sahélo-saharienne qui correspond à un écosystème constitué par des steppes semi-désertiques,
- au Sud lui succède la région Sahélienne, zone de savanes caractérisées par la prédominance du tapis graminéen sur les végétaux ligneux constitués d'espèces particulièrement adaptées à la sécheresse (*Commiphora africana*, *Balanites aegyptiaca*, *Acacia tortilis*, *Acacia senegal*, etc),
- enfin la limite méridionale du Sahel se caractérise par la présence de savanes dites soudaniennes qui demandent des pluies plus abondantes. Les espèces ligneuses sont assez diversifiées. Elles jouent un rôle particulièrement important dans la couverture des sols.

Notons que la structure de la végétation joue un rôle important dans le développement des essaims de criquets.

Depuis plusieurs années, le Sahel est synonyme de sécheresse, de désertification, de famines, de misère. Ainsi, suite aux sécheresses de 1968 à 1973, quelque deux cent cinquante mille personnes en Mauritanie et au Mali (respectivement 20% et 5% de la population totale de ces pays) et deux cent mille au Niger étaient entièrement dépendantes de l'aide alimentaire. En 1983-84, quelques dix-neuf pays, depuis les îles du Cap-vert jusqu'à l'océan indien, furent affectés d'une sécheresse très aiguë*. La FAO estimait en 1984 que cent cinquante millions de personnes avaient souffert de disette dans environ vingt quatre pays africains qui furent victimes du désastre. Sur de vastes étendues, une quantité importante de végétaux ligneux périrent suite au manque d'eau et à l'exploitation abusive. Dans la savane de Fété-Olé, au Sénégal, des recherches effectuées au cours de la période 1970-1973**, montrèrent que 75% des arbres croissant dans les parties élevées de celle-ci furent tués par la sécheresse.

* Milas, 1984; cité par [3].

** Bille et Poupon, 1974; cité par [4].

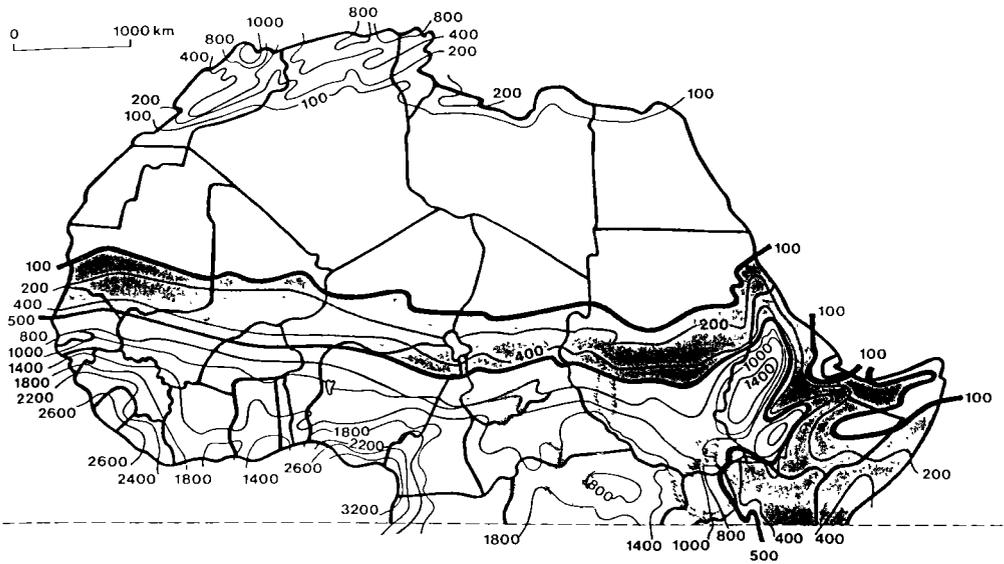


Figure 1. Localisation de la zone sahélienne en Afrique : elle est comprise entre les isohyètes 100 et 500 mm.

Suite aux calamités liées aux sécheresses et à la désertification, neuf pays du Sahel ont créé en 1973 le Comité Inter-Etats de Lutte contre la Sécheresse au Sahel (CILSS). Ces pays couvrent une superficie de 53,6 millions de km² avec une population de 36 millions d'habitants avec une surface cultivée de 14 millions d'ha dont 250 000 ha sont irrigués.

Face aux fléaux des invasions de criquet, plusieurs pays d'Afrique de l'ouest ont mis en place depuis 1965, l'OCLALAV (Organisation Commune de Lutte Anti-acridienne et Antiaviaire). Durant ces dernières années elle a connu d'importants problèmes financiers et organisationnels. Elle se trouve actuellement en phase d'organisation.

Les effets des invasions des acridiens sur la production agricole au Sahel

Il existe environ 300 espèces de criquets au Sahel. Quatre d'entre elles sont souvent signalées pour les dégâts qu'elles occasionnent lors d'invasions. Il s'agit de :

- *Schistocerca gregaria* (Forsk., 1775) criquet pèlerin ou criquet du désert
- *Locusta migratoria* (Linne, 1758) criquet migrateur (en Afrique de l'ouest on rencontre la sous-espèce *Locusta migratoria migratorioides* (Reiche et Fairemaire, 1850)
- *Oedaleus senegalensis* (Krauss, 1877) criquet sénégalais
- *Zonocerus variegatus* (Linne, 1758) criquet puant.

Au plan écologique il faut aux criquets un milieu et un sol humide et sableux comme celui des oueds des zones arides ou semi arides des pourtours du Sahara.

En période d'invasion, au point de vue quantitatif les dégâts réels occasionnés par les criquets sont difficiles à apprécier. Cependant selon les estimations des spécialistes, en 1974, 368 000 tonnes de céréales dans le Sahel auraient été perdues du fait des sauteriaux. Quand on sait que les céréales (mil, maïs, sorgho, riz, etc) constituent la base de l'alimentation dans les pays du Sahel et qu'elles sont des cultures particulièrement vulnérables aux acridiens, on peut avoir une idée de l'ampleur des dégâts occasionnés par les criquets et les sauteriaux. Un km² d'essaim, qui peut renfermer plus de 50 millions d'individus, consommerait près de 100 tonnes de matières végétales fraîches par jour. Les dégâts sur les pâturages sont importants certes mais moins spectaculaires [5, p 44].

Les invasions des criquets sont largement favorisées par les actions humaines destructrices du couvert végétal dans les zones semi-arides. En effet, la multiplication des populations de criquet est stimulée par leur grégarisation (tendance à vivre en groupe) qui est favorisée par le surpâturage et l'aridification qui en résulte. La structure de la végétation joue en effet un rôle très important dans le processus. Uvarov écrivait déjà en 1928, je cite : *«Les effets de l'homme dans les aires grégariques ont été de détruire la structure originelle de la végétation qui est uniforme et de créer une mosaïque dans laquelle il a favorisé l'accroissement des habitats les plus arides auxquels les populations de criquets sont associées. L'importance d'une telle augmentation de l'aridité au plan écologique tient dans le fait que les explosions démographiques de criquets migrants sont associées avec une série d'années sèches. L'action favorable de la sécheresse sur la genèse des vols de criquet sera naturellement plus forte dans un environnement qui est spontanément aride ou qui a été rendu tel par l'homme»**.

Les pesticides chimiques en Afrique au sud du Sahara et leur utilisation dans la lutte anti-acridienne

Le marché des pesticides en Afrique subsaharienne

Entre 1980 et 1985, l'Afrique subsaharienne a importé, en moyenne, pour 290 millions de dollars US, (soit près de 80 milliards de francs CFA) de pesticides par an et l'utilisation dans cette partie de l'Afrique des produits phytosanitaires devrait augmenter d'environ 4% par an au cours des prochaines années. Dans cette région 80% des pesticides sont utilisés sur les cultures d'exportation telles que arachide, coton, café, cacao, etc [6].

L'Afrique, qui n'utilise que 5% des pesticides mondiaux, a multiplié par neuf sa consommation depuis une dizaine d'années.

Les premiers insecticides apparus dans les années 40 sont les organochlorés (le plus connu d'entre eux étant le DDT). Du fait de leur persistance dans l'environnement où ils ont causé des dégâts très importants, ces produits ont été bannis d'utilisation dans la quasi-totalité des pays industrialisés. Ils sont encore largement présents dans beaucoup de pays d'Afrique où l'on assiste souvent à un *dumping* de ces produits par des sociétés peu scrupuleuses.

* Uvarov, 1928; cité par [3], p 174.

Les pesticides dans les villages

Dans les pays sahéliens tels que le Sénégal, le Mali, le Burkina Faso, le Niger, le Tchad, l'Etat est le principal fournisseur des paysans en pesticides notamment dans le cadre de la lutte anti-acridienne. Cependant, ça et là, les sociétés privées et les commerçants intermédiaires (appelés «bana-bana» au Sénégal), commencent à jouer un rôle important sur le marché local.

Les services dits traditionnels de l'agriculture : inspection de l'agriculture au niveau régional, secteur agricole au niveau départemental, sont chargés généralement de la mise en place, au niveau des paysans, des produits phytosanitaires. Ces produits sont souvent achetés par les services de la Protection des Végétaux (PV). Ces services reçoivent d'organismes internationaux et de pays plus nantis, également des dons de pesticides, notamment en période d'urgence comme ces dernières années où il y a eu plusieurs invasions de criquets et sauteriaux dans le Sahel et le Maghreb.

Les pesticides arrivent souvent dans les villages dans des contenants relativement importants en volume. Alors, les distributeurs procèdent au «reconditionnement» des produits dans des bidons, bouteilles, seaux, sachets en plastique, etc.

Suivre les prescriptions des fabricants dans l'usage des pesticides constitue un impératif pour éviter les accidents graves qui ont été observés çà et là dans l'emploi de ces bio-cides. Dans les précautions d'emploi, l'accent est mis sur le port d'habits protecteurs, de gants, etc. Ces équipements lorsqu'il y en a, sont relativement chers pour les paysans et de plus sont peu appropriés aux conditions climatiques tropicales. Aussi est-il rare de voir les paysans les utiliser.

Des pratiques dangereuses fréquentes dans l'utilisation des pesticides en milieu villageois

Les faits relatés ici parlent d'eux-mêmes. Les problèmes posés par les pesticides sont nombreux et graves en milieu villageois africain très souvent mal informé et sous équipé.

Les plus importants d'entre eux sont les suivants :

- des usagers de pesticides sont fréquemment exposés durant la préparation, la manipulation et l'application des pesticides,
- les pesticides sont souvent conservés dans des bouteilles de «Coca-Cola», de jus d'orange et tout autre récipient disponible,
- des pesticides très toxiques sont quelquefois stockés à côté d'aliments destinés à la consommation humaine et animale,
- les récipients vides de pesticides sont fréquemment re-utilisés pour emmagasiner de l'eau de boisson, du lait, de la nourriture,
- la vente aux paysans de produits inefficaces,
- l'agriculteur peut utiliser parfois un fongicide à la place d'un insecticide car c'est ce produit qu'il a sous la main, qui est disponible sur le marché ou alors qui est distribué gratuitement par l'Etat,
- les utilisations de pesticides à d'autres fins par exemple la pêche, le séchage du poisson, les suicides, etc.,
- l'épandage des pesticides avec des appareils mal réglés,
- si le produit est bon, plus on en répand meilleur sera la récolte,
- des enfants, ignorant des dangers liés aux produits, effectuent, à la demande de leurs parents, des traitements des cultures,

- les gestes simples, par exemple se laver les mains et le corps après un épandage, ou ne pas fumer pendant les traitements, ne sont pas souvent observés par les paysans.

Les agriculteurs n'ont pas toujours les résultats escomptés avec l'épandage des produits chimiques. Pour qu'un traitement soit «efficace», il doit être effectué à une dose précise, à une date donnée, et à un stade de développement déterminé du ravageur ou de la plante. Les paysans n'ont pas toujours les informations ou le savoir-faire leur permettant de répondre à ces questions et de résoudre ces problèmes.

Toutes ces pratiques que l'on rencontre malheureusement dans nos campagnes lors des épandages, manipulations, ou stockage des pesticides chimiques très toxiques, ont des conséquences néfastes sur la santé des paysans, des consommateurs et participent évidemment à la pollution des écosystèmes. Les évaluations de ces conséquences indésirables ne sont pas encore entreprises de manière satisfaisante dans les différents pays concernés par la lutte anti-acridienne.

Réglementation et législation des pesticides

La législation et la réglementation en matière de commerce et d'utilisation des pesticides constituent des éléments très importants en matière d'utilisation des pesticides. A cet égard des législations nationales et des commissions d'homologation des pesticides ont été mises en place dans certains pays. Malheureusement il existe encore de nos jours des pays qui n'ont aucune structure et législation en la matière ou alors les textes en vigueur datent de la période coloniale. Ils sont évidemment dépassés.

Cet état de fait est inacceptable de notre point de vue. Il y a lieu de faire en ce sens des efforts très importants et très rapidement. Il faut souligner par ailleurs que l'existence des textes est une chose et leur application et contrôle sont autres choses. Il est impérieux que les pays du Sahel se donnent les moyens d'appliquer les textes qu'ils ont élaboré notamment en ce qui concerne le commerce, l'utilisation des pesticides chimiques.

Depuis novembre 1985, la FAO a adopté à l'unanimité de ses membres, le code international de conduite en matière de distribution et d'utilisation des pesticides. Les articles contenus dans ce code constituent un minimum dans la tentative du contrôle et de l'utilisation avec le maximum de sécurité des pesticides chimiques. Il est à noter que ce document n'a pas encore reçu dans nos pays tout l'écho et la large diffusion nécessaires afin d'arriver à une prise de conscience générale de tous les acteurs impliqués dans la protection des cultures.

Signalons que les institutions sous-régionales et les services nationaux de protection des végétaux sont de plus en plus conscients de ces problèmes et nous espérons qu'ils intégreront de mieux en mieux les aspects environnementaux de l'utilisation des biocides chimiques dans la protection des cultures.

Les insecticides de synthèse utilisés dans la lutte anti-acridienne et leurs effets possibles sur l'environnement

En 1986, près de 3 millions d'ha ont été traités par des pesticides chimiques en Afrique de l'Ouest dans le cadre de la lutte anti-acridienne. Plusieurs types de produits appartenant aux organochlorés, aux organophosphorés, aux carbamates, et aux pyréthrinoides ont été utilisés.

Il n'existe pas, à proprement parler, d'acridicides c'est-à-dire de pesticides ne tuant que les acridiens. Un certain nombre de pesticides ont été conseillés par les spécialistes pour la lutte anti-acridienne. La plupart de ces produits sont modérément toxiques et leur rémanence varie d'un jour pour le malathion à quelques mois pour le Chlorpyrifos-méthyl, le dichlovos (DDVP), le phoxime.

Cependant, la dieldrine, le HCH qui sont des pesticides très dangereux sont encore utilisés par endroits contre les criquets et sauteriaux. Ces produits posent des problèmes de santé et d'environnement qui retiennent particulièrement notre attention.

Il ne faut pas perdre de vue que certains mélanges de produits de familles chimiques différentes peuvent présenter une certaine synergie d'action qui les rendraient plus dangereux pour la santé que les produits utilisés séparément (SAS n°8 août 1989). Il y a également le problème des métabolites qui proviennent de la désintégration des molécules primaires.

Compte tenu de ce que nous avons dit plus haut concernant les pratiques dangereuses en matière d'utilisation, de manipulation, de stockage des produits, nous pensons que des produits hautement dangereux ne peuvent être employés de manière correcte par des paysans. Ils disposent, en effet, de peu d'équipements de protection et d'informations pertinentes en matière d'utilisation de ces biocides. Le pesticide le plus «sûr» peut être, dans ce cas, un élément extrêmement dangereux pour la santé humaine entre autres. Par ailleurs, les risques d'empoisonnement des hommes liés à l'ingestion de criquets intoxiqués par des produits chimiques ne sont pas négligeables dans certains pays.

De plus, de nombreux animaux semblent se nourrir aux dépens des pullulations acridiennes au point de changer parfois radicalement de régime en adoptant de nouvelles techniques d'alimentation [7]. Les ruptures dans les chaînes trophiques notamment suite à l'utilisation des pesticides sont préjudiciables à plusieurs animaux des écosystèmes comme les vertébrés insectivores.

L'évaluation de l'impact des produits chimiques utilisés sur les écosystèmes sahéliens n'a pas été fait jusqu'ici de manière objective et précise. Très souvent, on ignore les effets des pesticides sur la faune et la flore. Il est exact que comme le soulignait dans un rapport récent, de *Visscher et al 1986 p. 6* «la diminution ou la disparition de certaines espèces de l'entomofaune «non cible» (fourmis, coléoptères, termites, etc) peut affecter le mécanisme de fertilisation des sols ou favoriser l'émergence de nouvelles espèces nuisibles aux cultures qui ne seraient plus contrôlées par leurs ennemis naturels».

De nombreux organismes non cibles dans la lutte anti-acridienne (insectes pollinisateurs, auxiliaires biologiques insectivores et autres) ont souffert des épandages des produits chimiques. Les conséquences des produits sur ces organismes et, partant sur l'environnement de manière étendue, sont difficiles à établir. Il ne faut pas perdre de vue que les ruptures des chaînes trophiques en milieu sahélien peuvent être très graves à long terme.

Les différentes considérations ci-dessus indiquent toute la problématique et la complexité de la lutte chimique contre les ennemis des cultures, en l'occurrence les acridiens, pour le contrôle desquels des quantités considérables de pesticides ont été déversées sur le Sahel.

Les principaux pesticides utilisés dans la lutte anti-acridienne sont indiqués dans le Tableau I. En 1986, 35 millions de dollars US ont été consacrés à la lutte contre les criquets dans les différents pays membres du CILSS*.

* CILSS (Comité Inter-Etats de lutte contre la sécheresse au Sahel), organisme créé en 1973 pour lutter contre la désertification au Sahel. Il est constitué par le Burkina Faso, le Cap-Vert, la Gambie, la Guinée Bissau, le Mali, la Mauritanie, le Niger, le Sénégal, et le Tchad.

Tableau 1. Les principaux insecticides utilisés au Sahel en 1986.

Famille chimique d'insecticides	Nombre d'observations	%	Matières actives	Nombre d'observations	%/ familles	%/ ensemble
Organophosphorés	143	35,5	Fenitrothion	122	83,3	30,3
			Diméthoate	14	9,8	3,5
			Malathion	4	2,8	1,0
			Asthoate	2	1,4	0,5
			Diazinon	1	0,7	0,3
Organochlorés	125	31,0	Lindane	100	80,0	24,8
			HCH	18	14,4	4,5
			Dieldrine	7	5,6	1,7
Carbamates	103	25,6	Propoxur	98	95,2	24,3
			Carbaryl	3	2,9	0,7
			Méthomyl	2	1,9	0,5
Pyréthriinoïdes	11	2,7	Deltaméthrine	11	100,0	2,7
Autres produits	21	5,2		21		5,2
Total	403					

Source : [1].

Dans l'état actuel des connaissances le problème du criquet ne semble pas pouvoir être résolu de façon simple par la lutte biologique. Il ne sera pas non plus résolu par la lutte à outrance avec des produits chimiques très dangereux.

Dans la lutte contre les acridiens le plus inquiétant est sans nul doute l'absence de préoccupation dans la plupart des pays sahéliens et de certaines organisations internationales, en matière de suivi et d'évaluation des effets des produits chimiques utilisés sur la santé des hommes et des animaux ainsi que sur l'environnement.

Faut-il utiliser la dieldrine dans la lutte anti-acridienne ?

La dieldrine est un insecticide organochloré à toxicité élevée pour les mammifères, les oiseaux et tous les insectes. Elle est utilisée depuis 30 ans contre le criquet pèlerin par dérogation spéciale, car sa rémanence est grande, 30 à 45 jours. Les zones traitées à la dieldrine sont interdites au bétail pour au moins un mois.

Selon la lettre d'information SAS 1986 n°02, la dieldrine est économique, efficace car elle est bien ajustée au comportement et au temps de développement biologique, peu polluante et peu dangereuse si elle est utilisée par des spécialistes (port d'équipement, avertissement aux populations nomades, traitements en zone totalement désertique).

La dieldrine n'est pas peu polluante comme on l'a affirmé plus haut. L'une des raisons pour lesquelles elle est interdite d'utilisation dans les pays développés est précisément sa persistance dans le milieu avec la pollution qui en résulte pour les chaînes alimentaires des écosystèmes aussi bien terrestres qu'aquatiques. De plus, compte tenu des moyens limités des pays sahéliens, il est illusoire de penser que l'épandage de ce produit peut être systématiquement effectué par des spécialistes partout où il le faut avec des équipements appropriés. Nous estimons que ce produit doit être banni d'utilisation partout car nous n'avons aucun moyen d'évaluer de manière précise les dégâts susceptibles d'advenir à long terme de l'utilisation de ce pesticide dont les dangers sur l'environnement ont du reste été scientifiquement établis et ne font l'objet d'aucun doute. Au demeurant, les recherches en cours d'autres molécules sont très prometteuses. Ces types de recherches méritent d'être encouragées et beaucoup plus renforcées.

Un problème inquiétant est constitué par les importants stocks de dieldrine qui sont entreposés depuis une vingtaine d'années dans différents pays du Sahel. Selon certaines informations, il y aurait environ 200 000 litres de dieldrine disséminés un peu partout. Les pays du Sahel ayant décidé de ne pas utiliser la dieldrine, le problème posé est de trouver d'urgence la meilleure façon d'éliminer ce pesticide très dangereux, sans créer d'autres situations de pollution préjudiciables à la santé humaine et à l'environnement.

Conclusion et recommandations

Il faut reconnaître, en matière de lutte chimique contre les acridiens, qu'un effort important a été fait dans le choix des produits. Des produits très toxiques comme la dieldrine, le HCH n'ont pas été utilisés par la plupart des pays. La communauté internationale a joué un rôle essentiel à cet égard.

Des efforts importants ont été également consentis en matière de législation des produits et d'information des paysans sur les dangers liés aux produits chimiques ainsi que sur les mesures à prendre pour leur utilisation sans danger. Il reste cependant beaucoup à faire dans le domaine de l'information et de la formation correcte des paysans sahéliens. Cette formation et information des paysans sont essentielles dans la lutte contre les acridiens.

Il faudrait arriver à surveiller de manière plus systématique les zones à criquets en évitant des actions de lutttes très tardives. L'idéal serait de combattre les criquets quand ils sont au stade larvaire.

Il y a lieu également de procéder de façon très sérieuse au contrôle des pesticides tant au plan toxicologique qu'écologique. De plus, les capacités des pays sahéliens aussi bien au plan des ressources humaines que financières doivent être renforcées en vue d'une lutte efficace et efficiente contre les acridiens. Il est assez facile de constater que les spécialistes en matière de lutte anti-acridienne dans le Sahel ne sont pas souvent des sahéliens et que les structures les plus efficaces dans le domaine se trouvent en dehors des pays du Sahel. Cette situation doit être sérieusement étudiée et des solutions pertinentes y être apportées. La recherche de méthodes de lutte intégrées où les pesticides chimiques les moins dangereux ne seront utilisés qu'en dernier recours, devrait être privilégiée. Jusqu'à ces dernières années les choix des pesticides dans la lutte acridienne a été effectué sur la base de considérations financières et politiques, plutôt qu'écologiques. Il est grand temps que l'on donne aux aspects écologiques leur véritable place.

Par ailleurs, il est d'une impérieuse nécessité que les autorités des pays du Sahel et les organisations internationales et autres structures impliquées dans la lutte anti-acridienne donnent à l'évaluation des effets possibles des produits chimiques sur les écosystèmes l'attention et le soutien nécessaires. Jusqu'ici très peu a été fait dans ce sens. Ces aspects sont cependant fondamentaux pour une exploitation et une gestion rationnelle des ressources de nos pays.

La lutte contre les acridiens doit être conçue dans un cadre global en tenant compte de tous les paramètres essentiels du milieu tant écologique que sociologique. Nous avons vu l'influence de la sécheresse et la diminution de la couverture végétale sur la grégarisation des criquets. Les aménagements hydro-agricoles des grands fleuves et lacs au Sahel ont par ailleurs très certainement contribué aux récentes pullulations des acridiens. Dans cette perspective, les actions vigoureuses et bien conçues de lutte contre la désertification en rendant le milieu peu favorable à la grégarisation des acridiens pourraient contribuer très certainement à réduire les menaces d'invasion des criquets.

Je voudrais citer, en terminant, une déclaration faite par Monsieur Saouma, directeur général de la FAO à l'occasion de la Journée mondiale de l'alimentation de cette année, je cite : *«L'agriculture, une victime du désastre écologique devient un redoutable agent de ce même procédé par sa consommation de quantités énormes de produits chimiques, notamment de fertilisants et de pesticides, et leur déversement dans le milieu ambiant. Le dopage a été impitoyablement combattu dans le milieu sportif, et cependant l'homme poursuit un processus d'auto-empoisonnement léthal en dopant systématiquement et sans restriction les plantes et animaux qui sont la base de notre alimentation. Pour détruire les insectes nuisibles nous détruisons tous les insectes nuisibles ou non, provoquant de graves perturbations au long de la chaîne de vie animale. Au moment où les grandes puissances considèrent finalement l'abolition des armes chimiques, nous menons une guerre chimique insensée et totale contre la nature».*

Références

1. PRIFAS/CIRAD. (1987). Surveillance des acridiens au Sahel (lettre d'information 16-86 SAS). Opération SAS, Montpellier.
2. De Visscher MN *et al.* (1988). Effets directs et indirects, immédiats et différés de la lutte anti-acridienne sur l'environnement. Ministère de la Coopération, PRIFAS/CIRAD, Montpellier, décembre 1988, 1.
3. Ramade F. (1987). Les catastrophes écologiques. Ed Mac Graw-Hill, Paris; 317 p.
4. Bourlière F. (1978). La savane sahélienne de Fété Olé, Sénégal, in Structure et fonctionnement des écosystèmes terrestres, Lamotte et Bourlière eds, Masson, Paris, 1978. 187-229.
5. Duraton JF *et al.* (1987). Guide antiacridien du Sahel. Ministère de la coopération, PRIFAS/CIRAD, Montpellier; 344 p.
6. FAO. (1987) Supplément au rapport de l'étude de faisabilité sur l'expansion de l'aide en nature pour les approvisionnements en intrants agricoles. Document de la vingt-quatrième session de la conférence générale de la FAO (C 87/20 sup. 1), Rome 159 p,
7. Blanca G, Visscher MN. (1989). Les invasions de criquets pèlerins dans les chaînes alimentaires. Analyse des résultats de l'enquête SAS de janvier 1989. CIRAD/PRIFAS, Montpellier, 26 p : 9.

Bibliographie générale

8. ACTA. (1987). Index phytosanitaire 1988. Paris; 491 p.
9. ARSAP/CIRAD, (1988). Regional agro-pesticide index Asia and the Pacific. Ed 1988/1989 Economic and Social Commission for Asia and the Pacific United Nations, Bangkok, Thailand; 390 p.
10. Appert J *et al.* (1988). Fiches techniques donnant les caractéristiques et usages principaux des pesticides utilisés dans les pays méditerranéens et tropicaux, CNEARC/CIRAD, Montpellier.
11. FAO. (1986). Code international de conduite pour la distribution et l'utilisation des pesticides. FAO, Rome.
12. FAO/OMS. (1987). Limites maximales codex pour les résidus de pesticides. 2^e ed.
13. Germain P, Thiam A. (1988). Les pesticides au Sénégal : une menace ? ENDA, série Etudes et Recherches, 83 : 83.
14. IOCU. (1984). The pesticide handbook. Profiles for action. IOCU Penang, Malaisie; 165 p.
15. Morgan PD. (1982). Recognition and management of pesticide poisoning. Third Edition, United States Environmental Protection Agency (EPA 540/9-80-005).
16. National Wildlife Federation, (1984). 34 pesticides : is safe use possible ? Washington DC (USA); 69 p.
17. ONU. (1986). Liste récapitulative des produits dont la consommation ou la vente ont été interdites ou rigoureusement réglementées, ou qui ont été retirés du marché ou n'ont pas été approuvés par les gouvernements. Première édition révisée, Nations Unies, New York; 258 p.

Annexe

Données sur quelques pesticides utilisés dans la lutte anti-acridienne au Sahel

DIELDRINE

DL₅₀ oral (rats) : 37 mg/kg

DL₅₀ dermique (rats) : 10 mg/kg

Nom commun : Dieldrine

Noms commerciaux : Dieldrine, Dieldrex, Dielmul, Grumidon, Actidrin, Actidon.

Nom chimique : 85% de 1,2,3,4,10,10-hexachloro-6,7-époxy-1,4,4a,5,6,7,8,8a-octahydro-exo-1,4-endo-5,8-diméthanonaphtalène.

Famille chimique : Organochloré

Fabricant : Shell

Utilisation : Insecticide

Classification OMS : Extrêmement dangereux (classe Ia)

Teneur maximale en résidus (normes CEE)

Céréales : 0,01 mg/kg; viande : 0,05 mg/kg; lait : 0,002 mg/kg. Tout aliment excepté graisse : 0,2 mg/kg.

Pays où le produit est sévèrement réglementé ou banni d'utilisation : CEE, Argentine, Autriche, Canada, Suisse, Chili, Colombie, Chypre, RDA, Danemark, Equateur, Finlande, Hongrie, Inde, Israël, Japon, Ile Maurice, Norvège, Nelle Zélande, Pakistan, Philippines, Singapour, URSS, Suède, Togo, Turquie, USA, Vénézuéla, Yougoslavie.

Effets sur santé et environnement : Les résidus peuvent persister pendant 20 ans. Suspectés comme cancérogènes, tératogènes, embryotoxiques. Très toxique pour poissons et d'autres animaux. Plusieurs insectes cibles ont développé une résistance au produit.

Mesures d'urgences en cas d'intoxication : Pas d'antidote spécifique. Traitements symptomatiques. Lavage d'estomac.

FENITROTHION

DL₅₀ oral (rats) : 503 mg/kg

DL₅₀ dermique (rats) : 1300 mg/kg

Nom commun : Fenitrothion

Noms commerciaux : Fenitrothion, sumithion, sumifène, sumicombi.

Nom chimique : 6 thiophosphate de 0,0-diméthyle et de 0- (méthyl-3 nitro-4 phényle).

Famille chimique : Organophosphoré.

Fabricant : Varié

Utilisation : Insecticide

Classification OMS : Modérément dangereux (classe II).

Teneur maximale en résidus (normes CEE) : Fruits et légumes: 0,5 mg/kg

Pays où le produit est sévèrement réglementé ou banni d'utilisation : (le produit ne figure pas sur la liste récapitulative des Nations Unies).

Effets sur santé et environnement : dangereux pour les poissons, les abeilles et les entomophages.

Précautions d'emploi : Rémanence 10 à 15 jours. Interdit 15 jours avant la récolte sur légumes et fruits.

Mesures d'urgences en cas d'intoxication : Antidote : atropine, toxogonin, PAM, 2-PAMCI, 2-PAMM.

HCH

DL₅₀ oral (rats): 100 mg/kg

DL₅₀ dermique (rats): 900 mg/kg

Nom commun : HCH*

Noms commerciaux : HCH, Hexapoudre, Hexafort.

Nom chimique : 1,2,3,4,5,6-hexachlorocyclohexane (mélange d'isomères de C₆ H₆ Cl₆).

Famille chimique : Organochloré.

Fabricant : Varié

Utilisation : Insecticide

Classification OMS : Modérément dangereux (classe II).

Pays où le produit est sévèrement réglementé ou banni d'utilisation : Equateur, Hongrie, Japon, Kenya, Hollande, Nouvelle-Zélande, Portugal, Singapour, Thaïlande, Turquie, USA, Yougoslavie.

Effets sur santé et environnement : Très irritant pour la peau et les yeux. Dangereux pour les poissons.

Ce produit doit être totalement abandonné. Son utilisation dans la lutte anti-acridienne n'est pas justifiée compte tenu de la diversification des produits insecticides plus efficaces et disponibles sur le marché [5, p 306]

* Le HCH possède un large spectre d'action et a été, après la Seconde guerre mondiale, très largement utilisé en Afrique (particulièrement contre les acridiens) en raison de sa grande polyvalence et de son faible coût.

LINDANE

DL₅₀ oral (rats) : 88 mg/kg

DL₅₀ dermique(rats) : 900 mg/kg

Nom commun : Lindane

Noms commerciaux : Lindane, Gammophèle, Lindapoudre, Saxal.

Nom chimique : 99% de hexachloro-cyclohexane* (C₆ H₆ Cl₆).

Famille chimique : Organochloré.

Fabricant : Varié

Utilisation : Insecticide

Classification OMS : Modérément dangereux (classe II).

Teneur maximale en résidus (normes CEE) : Carottes: 0,1 mg/kg; légumes feuilles : 2 mg/kg; autres légumes : 1 mg/kg; viande, graisses : 2 mg/kg; lait de vache : 0,0008 mg/kg.

Pays où le produit est sévèrement réglementé ou banni d'utilisation : Ne figure pas sur la liste récapitulative des Nations Unies.

Effet sur santé et environnement : Dangereux pour arthropodes auxiliaires, abeilles, poissons. Certaines utilisations du lindane ont été interdites ou très sévèrement réglementées aux Etats Unis à cause :

- des effets cancérogènes sur les tests effectués sur animaux,
- de la toxicité chronique causant des effets défavorables sur le développement du fœtus en test sur des animaux,
- de la toxicité aiguë sur des organismes aquatiques

Selon les données scientifiquement établies, le lindane doit être considéré comme un produit pouvant avoir des effets cancérogènes chez l'homme. Le lindane est également très toxique pour le système nerveux central.

Précautions d'emploi : Interdit 15 jours avant récolte sur toute culture. Interdit en serre, sous abri en fumigation. Porter des équipements spéciaux, un masque respiratoire approuvé pour le lindane. Eviter de respirer les poussières et les fines gouttelettes du produit et il faut faire les applications dans un endroit aéré, bien ventilé. Ne pas inhaler le produit. Eviter tout contact du lindane avec la peau, les yeux. Il est très rapidement absorbé par la peau. Se laver très sérieusement après manipulation du produit.

Mesures d'urgences en cas d'intoxication : Pas d'antidote spécifique. En cas d'empoisonnement par ingestion : lavage gastrique, accélération du transit intestinal, barbituriques.

MALATHION

DL₅₀ oral (rats) : 200 mg/kg

DL₅₀ dermique (rats) : 4 100 mg/kg

Nom commun : Malathion

Noms commerciaux : Zithiol, Malathion,

Noms chimique : (diméthoxy-thiophosphorylthio)-2-succinate d'éthyle.

Famille chimique : Organophosphoré.

Fabricant : Varié

Utilisation : Insecticide-Acaricide

* Stéréoisomère de gamma HCH.

Classification OMS : Peu dangereux (Classe III).

Teneur maximale en résidus (normes CEE) : Céréales : 8 mg/kg; légumes racines et fruits : 3 mg/kg; autres légumes : 0,5 mg/kg.

Effets sur santé et environnement : Le malathion est très faiblement dangereux pour les mammifères et ne persiste pas dans l'environnement. Il est également peu toxique pour les espèces non cibles exceptés les poissons. Au contact, le malathion est très toxique pour les abeilles et les insectes «utiles» mais les résidus disparaissent très rapidement après l'application du produit.

Précautions d'emploi : Eviter de respirer ou d'inhaler le produit. Eviter également le contact avec la peau. Se laver abondamment avec de l'eau après avoir manipulé le pesticide. Ne pas contaminer les aliments. Du fait de sa très grande toxicité pour les poissons, tenir le malathion éloigné des cours d'eau. Ne pas appliquer le produit s'il peut y avoir une contamination des aliments, des puits et forages, etc. Si le malathion est utilisé en conjonction avec d'autres produits organophosphorés, les risques d'empoisonnement augmentent. Ne jamais re-utiliser les contenants de malathion.

Mesures d'urgences en cas d'intoxication : En cas d'empoisonnement appeler immédiatement le médecin.

Antidote : atropine, toxogonin, PAM, PAMM, PAMCI.

16

Compatibilité des plastiques et des caoutchoucs avec les formulations anti-acridiennes

G. BRUGE

Ethique et environnement, 14-20, rue Baizet, BP 9163, 69263 Lyon Cedex 05, France

Introduction

Dans l'industrie agrochimique, comme dans celle du machinisme agricole, beaucoup de collègues ou de confrères comparent à l'envi les matériels de traitement à des armes et les pesticides à des munitions, les deux constituant l'arsenal de la défense des cultures.

Plus que sur la précision des armes et le pouvoir destructeur des munitions, l'efficacité d'un arsenal repose avant tout sur la disponibilité et l'adaptation réciproque des deux. Comment combattre avec des canons de 105 mm, si l'on ne dispose que d'obus de 120 mm ?

De ce point de vue, l'arsenal de la défense anti-acridienne ressemble étrangement à un arsenal militaire. Ce n'est pas la peine d'approvisionner le champ de bataille en produits liquides si les opérateurs ne disposent que de sacs poudreux et, même si cet exemple paraît quelque peu ridicule, il constitue un appel à une meilleure concertation des aides internationales, notamment entre donateurs de produits et donateurs de matériels. Que devient la capacité de traitement d'un aéronef cloué au sol soit parce qu'il est impossible de le remplir en raison d'un matériel de pompage inadéquat ou d'une viscosité trop élevée des produits, soit parce que certaines pièces vitales ont été corrodées en quelques heures par les produits ?

Compte tenu de conditions beaucoup plus sévères (température, éloignement ne facilitant pas les réparations, emploi de produits concentrés) et de l'urgence des traitements une fois les ravageurs repérés, il est encore plus indispensable en lutte anti-acridienne que dans tout autre type de lutte phytosanitaire, qu'il y ait entre les matériels de traitement et les produits à appliquer une parfaite co-adaptation tant sur le plan mécanique (remplissage, filtration, abrasion...) que sur le plan de la tenue des matériaux (absence d'attaque chimique ou de corrosion).

C'est ce problème de tenue des matériaux que nous allons aborder, en tentant de suggérer quelques idées ou parades aux difficultés rencontrées.

Produits et appareils de traitement utilisés en lutte anti-acridienne

De même que les autres pesticides, les acridicides ne sont pas utilisés, sauf exception, sous forme de matières actives pures, mais sous forme de spécialités formulées.

Il existe de très nombreux types de formulations des pesticides, à la plupart desquels correspondent d'ailleurs des catégories particulières d'appareils d'application. Dans sa dernière édition, datant de Février 1989, la Monographie Technique n°2 publiée par le GIFAP* n'en répertorie pas moins de 71 (contre 64 en 1984 et 51 en 1978).

Pour les acridicides, commercialisés ou en phase de développement (toutes formes de lutte et tous acridiens confondus), la gamme de formulations se limite à une douzaine environ, à savoir :

- des concentrés à diluer dans l'eau :
 - concentrés émulsionnables (EC)
 - suspensions concentrées (SC)
 - suspensions de capsules (CS)
 - poudres solubles dans l'eau (SP)
- des concentrés à diluer dans les solvants organiques :
 - suspensions concentrées diluables dans l'huile (OF)
- des produits à appliquer sans dilution :
 - poudres pour poudrage (DP)
 - suspensions pour application à très bas volume/hectare (SU)
 - liquides pour application à très bas volume/hectare (UL)
- des formulations diverses :
 - concentrés pour préparation d'appâts (CB)
 - fumigènes (FU)
 - produits pour thermonébulisation (HN)
 - appâts prêts à l'emploi (RB)

bien que cette liste ne soit pas limitative dans le temps.

On peut d'ailleurs tenter de rapprocher, dans un tableau bâti selon un canevas souvent repris dans les rapports de la FAO, les principales formulations couramment utilisées des techniques ou types de moyens d'intervention classiques (Tableau I).

Et, parmi celles-ci, deux, en fait, sont largement dominantes :

- les poudres à poudrer (DP), qui devraient aller en régressant, pour des raisons de logistique, de coût, d'hétérogénéité des épandages, d'efficacité, de pénibilité d'application, de sécurité, etc.

*Le GIFAP (Groupement International des Associations Nationales de Fabricants de Produits Agrochimiques) est l'Association Internationale des Fabricants de Produits Agrochimiques. La Monographie Technique n°2 a proposé un système de codage, constitué par deux lettres pour chaque type de formulation, afin de faciliter la communication. La FAO en a très vite reconnu l'intérêt et l'a désormais totalement adoptée dans l'établissement de ses spécifications.

Tableau I. Moyens d'intervention classiques en lutte anti-acridienne et formulations de pesticides

Dimension de la cible (ha)	Moyens d'application	Types de formulations	
1 à 10	Sacs poudreux Poudreuses manuelles	Poudres à poudrer	(DP)
	Dépôts d'appâts	Appâts prêts à l'emploi ou fabrication locale d'appâts à partir de : * poudres à poudrer * concentrés émulsionnables * suspensions concentrées ou autres	(RB) (DP) (EC) (SC)
	Pulvérisateurs centrifuges à piles	Liquides pour application à 2-3 l/ha	(UL)
10 à 15	Pulvérisateurs pneumatiques	Concentrés émulsionnables Suspensions concentrées Poudres solubles dans l'eau Suspensions de capsules	(EC) (SC) (SP) (CS)
	Thermonébulisateurs	Produits pour thermonébulisation	(HN)
15 à 500	Canons ULV sur véhicules terrestres	Liquides pour application en ULV Suspensions " " "	(UL) (SU)
plus de 500	Aéronefs	Liquides pour application en ULV Suspensions " " "	(UL) (SU)

- les liquides (UL) pour application à très bas volume/hectare (0,5 à 1 l/ha, voire moins, pour les aéronefs - 2 à 3 l/ha pour les pulvérisateurs centrifuges à piles).

C'est ainsi que la consolidation de toutes les aides internationales en produits à l'Afrique et à la Péninsule Arabique pour la Phase I de la campagne 1987 (source FAO) donnait :

- environ 4 000 tonnes de poudres à poudrer (Fénitrothion 3% - Propoxur 1 ou 2% - Bendiocarb 1% - Lindane 5% - Fenvalérate 1,8%),
- environ 1 500 000 litres de formulations dites ULV (Fénitrothion 1000, 960, 500 ou 200 - Malathion 960 - Carbaryl 480-Lambdacyhalothrine 8 g/l),
- pour seulement 50 000 litres de concentrés émulsionnables et 50 tonnes de poudre soluble.

Les données de la campagne 1988 n'ont pas dû modifier sensiblement les tendances.

Sources d'incompatibilité entre appareils de traitement et formulations

Cas des poudres pour poudrage (DP)

Compte tenu de leur composition (quelques % de matière active, complétés à 100% par une charge inerte), les poudres pour poudrage ne posent guère de problèmes de corrosion. Tout au plus, peut-on craindre une éventuelle attaque, à très long terme, de pièces métalliques par les matières actives elles-mêmes.

La littérature technique professionnelle n'est pas, concernant l'attaque chimique de métaux par les matières actives pesticides, particulièrement prolixe, c'est le moins que l'on puisse dire.

La seule source d'information que nous ayons pu trouver sur le sujet est l'Index Régional des Pesticides pour l'Asie et le Pacifique, édité par le CIRAD*.

Le Tableau II rassemble quelques indications générales concernant les diverses matières actives acridicides encore commercialisées, abandonnées ou en cours de développement, qui ont pu être citées dans des listes de la FAO ou du PRIFAS**.

Cas des liquides pour application à très bas volume/hectare (UL)

De façon tout à fait classique, ce type de formulation contient :

- la matière active,
- généralement un mélange de deux solvants, dans un rapport permettant le meilleur compromis entre le pouvoir solvant et la résistance à l'évaporation,
- un ou deux stabilisants,
- et, éventuellement, un inhibiteur de corrosion.

Par définition ou compte tenu de leur niveau de concentration (tout au plus quelques dizaines de grammes par litre), ces deux derniers ingrédients n'interviennent, en principe, pas dans les phénomènes éventuels d'incompatibilité entre acridicides et matériaux constitutifs des appareils de traitement.

Sans exclure quelques phénomènes de corrosion des métaux inhérents à certaines matières actives, phénomènes bien connus et inévitables, sauf à ne plus utiliser ces matières actives, ou de possibles synergies ou potentialisations de «corrosivité» entre matières actives et solvants (on sait très bien que la présence d'eau, par exemple, rend certains métaux attaquables), il est communément admis que l'essentiel des problèmes d'incompatibilité entre produits et appareils de traitement sont dus aux solvants qui attaquent les matières plastiques et les caoutchoucs dont la proportion en poids dans ces appareils n'a cessé de croître depuis une vingtaine d'années.

Les solvants

Il ne faudrait pas imaginer que le formulateur se moque éperdument des problèmes de corrosion physico-chimique ou qu'il suffirait d'utiliser toujours le ou les mêmes solvants pour les faire disparaître.

*Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement

** Programme de Recherches Interdisciplinaire Français sur les Acridiens du Sahel.

Tableau II. «Corrosivité» des acridicides à l'égard des métaux

Matières actives	«Corrosivité» ou métaux attaqués
Acéphate	Non
Alphaméthrine	?
Bendiocarb	Non
Bromophos-éthyl	Non
Carbaryl	Non
Carbosulfan	Non
Chlorpyrifos-éthyl	Cuivre et laiton
Cyfluthrine	?
Cyperméthrine	Non
Deltaméthrine	Non
Diazinon	Non
Dichlorvos	Acier (Inox, Aluminium et Nickel résistent en l'absence d'eau)
Dieldrine	Oui
Diflubenzuron	Non
Esfenvalérate	?
Fénitrothion	Fer et acier non inox
Fenthion	Non
Fenvalérate	Non
Formothion	Non, sauf fer blanc
HCH	?
Lambdacyhalothrine	?
Lindane	Oui
Malathion	Acier et certains autres métaux
Mevinphos	Acier et laiton
Naled	Oui
Phoxim	Non
Propoxur	Non
Prothiophos	Non
Pyridaphenthion	Non
Pyrimiphos-méthyl	Fer blanc (Inox, Aluminium et laiton sont résistants)
Téflubenzuron	Non
Tralométhrine	?

L'industrie agrochimique rencontre, elle aussi, des problèmes de corrosion qu'elle doit résoudre, entre autres, lors de la mise au point des emballages de ses produits, problèmes qui ne sont pas tellement éloignés de ceux des constructeurs d'appareils de traitement, à cette différence près — mais elle est de taille — qu'un appareil est destiné à appliquer des produits extrêmement variés, ce qui n'est pas toujours le cas d'un emballage.

Le choix d'un solvant ou d'un mélange de solvants est, en fait, dicté par un cahier des charges (qui intègre les conditions d'application) de plus en plus contraignant au fil des années. On recherche :

- le pouvoir solvant, extrêmement variable, pour un même solvant, d'une matière active à l'autre,

- l'absence de réactivité vis-à-vis de la matière active (pas de dégradation chimique),
- la sélectivité biologique, c'est-à-dire l'absence de phytotoxicité sur les cultures considérées,
- la plus faible volatilité possible, notamment dans le cas des spécialités à appliquer par aéronefs,
- un point d'éclair élevé, pour la sécurité au transport (rappelons que pour les acaricides la FAO exige un point d'éclair minimum de 60°C),
- des propriétés toxicologiques compatibles avec les exigences de l'OMS, de l'EPA* ou d'autres instances (à noter qu'on commence déjà à parler de DL50 des solvants, alors que la réglementation internationale de la FAO/OMS autorise le calcul des DL50 des formulations sans tenir compte des solvants).

Sans oublier les impératifs non négligeables d'ordre économique (prix, facilité d'approvisionnement) ou réglementaire (régularité d'approvisionnement — il ne faut, en effet, pas oublier que, dans certains pays, tout changement de formulation oblige à déposer un nouveau dossier d'homologation).

Les solvants mis en oeuvre dans la formulation des pesticides se rattachent à deux grands groupes :

- les solvants non polaires tels que les hydrocarbures aliphatiques et les hydrocarbures aromatiques, chlorés ou non, et, d'une manière générale, toutes les coupes pétrolières ;
- les solvants polaires tels que les alcools, les glycols, les cétones, etc.

Problèmes de compatibilité

Si l'on connaît bien les manifestations possibles d'une incompatibilité — gonflement, ramollissement, surfaces devenant collantes, voire dissolution complète (cela arrive !), il est, par contre, très difficile de donner une définition de la compatibilité entre une matière plastique ou un caoutchouc et un solvant ou mélange de solvants. La notion de compatibilité est, en effet, assez subjective. Elle n'a de véritable signification que si on la rapproche des conditions d'emploi.

Enumérés ici sans ordre d'importance relative, divers facteurs jouent sur la tenue aux solvants.

Le degré de dilution des solvants

La concentration en solvants d'une bouillie pesticide dépend à la fois de la concentration de ces solvants dans la spécialité commerciale et du volume/hectare appliqué, pour une dose donnée de cette spécialité.

Dans le cas des traitements dits conventionnels (quelques dizaines à quelques centaines de litres par hectare), cette concentration est de l'ordre de quelques ‰. Ceci fait qu'un matériau, annoncé comme difficilement compatible avec un solvant pur, peut résister suffisamment à ce même solvant très dilué, pour assurer à une pièce donnée une durée de vie acceptable, encore que l'effet cumulatif puisse compenser cette dilution.

*Environmental Protection Agency (Etats-Unis)

Il en va tout autrement dans le cas des traitements dits «en ULV» puisque les pesticides sont alors utilisés en l'état, sans dilution, et que les concentrations en solvants peuvent atteindre 60% à 70%, voire davantage. Les contre-indications des producteurs de polymères doivent être davantage prises en compte.

Le temps de contact entre les solvants et les matériaux

Les effets cumulés dans le temps sont inévitables. Mais quelques mesures préventives évitent de les accroître :

- a) la vidange complète de la capacité résiduelle de tout circuit de pulvérisation (réservoir, tuyauteries, pompe, clapets, vannes, buses, etc.);
- b) son nettoyage à fond au moyen des produits recommandés par les fabricants de pesticides, hydrocarbures après utilisation de formulations UL, eau pure ou additionnée d'agents tensio-actifs ou de détergent après application d'un produit dilué dans l'eau;
- c) son séchage complet.

Le degré de contact entre les produits et les différentes pièces

Une pièce baignant dans les produits par toute sa surface n'est pas nécessairement plus sujette à une attaque physico-chimique qu'une pièce n'ayant qu'un contact partiel. Tout est affaire de cas particuliers.

Les contraintes mécaniques

Le comportement au contact d'un produit d'une pièce de circuit de pulvérisation est certainement différent selon que cette pièce est fixe ou mobile. D'ailleurs, la capacité de résistance demandée à une pièce dépend de sa fonction. Peu importe, par exemple, qu'un joint statique d'étanchéité gonfle de 20% au contact de solvants si le résultat du gonflement est une meilleure étanchéité. Par contre, on ne peut admettre un gonflement même moindre d'une membrane ou d'un joint de piston de pompe.

Les alternances fonctionnement-remisage des appareils

Dans une communication présentée lors du Séminaire de l'Aviation Agricole de Varsovie, en Septembre 1978, sur les «Conséquences du contact des matériaux aéronautiques avec les anti-parasitaires», L. Sacco avait indiqué que, lors d'essais de trempage de diverses pièces d'avion ou d'hélicoptère dans des bains de pesticides, il avait remarqué que l'alternance immersion-émersion (cycle de 48 heures) provoquait une corrosion plus forte qu'une immersion en continu.

Les conditions ambiantes

Il est bien connu que l'augmentation de la température accroît l'agressivité des solvants et, comme nous le verrons plus loin, certains matériaux peuvent perdre toute résistance sur une plage de quelques dizaines de degrés Celsius, tout au plus.

Par ailleurs, on sait également que la lumière solaire peut provoquer des phénomènes de vieillissement altérant la résistance des caoutchoucs et des plastiques aux solvants par suite, entre autres, d'apparition de craquelures.

Les mélanges de solvants

Si un solvant peut se montrer agressif vis-à-vis d'un matériau donné, un mélange de solvants ou la cohabitation de solvants dans un même organe de pulvérisateur risquent, a fortiori, de poser des problèmes encore plus difficiles à résoudre, pour l'ingénieur de bureau d'études ou l'utilisateur. L'exemple le plus typique que nous connaissons par expérience est celui des mélanges d'un solvant chloré (monochlorobenzène, dichloréthane, trichloréthane ou tétrachloréthylène) et d'une cétone (cyclohexanone, isophorone, méthyl-éthyl cétone, méthyl-isobutyl cétone, etc.) parce qu'il y a, entre eux, synergie d'agressivité.

De façon peut-être plus ponctuelle et moins intense, mais tout aussi réelle, la présence de résidus d'un produit A dans un circuit de pulvérisateur appliquant ensuite un produit B entraîne inévitablement les mêmes effets.

Matériaux de construction

La question traditionnelle que certains posent, dans leur jargon relatif à l'utilisation des pesticides — *«Est-ce ça passe dans les appareils ?»* — a le don d'exaspérer les spécialistes des techniques d'application. Evidemment, ça passe ! A la limite, il suffirait de monter la pression, d'enlever tous les filtres, buses, etc. pour que «ça passe» !

Le problème le plus difficile n'est pas celui de l'écoulement, ni même celui d'une distribution et d'une répartition correctes des produits sur la cible. La question qui devrait être posée à propos de chaque pesticide est la suivante : les matériaux de fabrication des matériels d'application seront-ils résistants à ce produit ?

Il n'y a pas toujours eu, loin de là, toute la concertation et la coopération nécessaires entre l'industrie agrochimique et les fabricants de matériels de traitement. Rhône-Poulenc Agrochimie peut, dans ce domaine, s'enorgueillir de deux actions constructives :

a) d'avoir réalisé, dès 1978, une étude intitulée «Tables de compatibilité des plastiques et caoutchoucs avec les solvants usuels»*, pour le compte de l'Union des Industries de la Protection des Plantes, étude revue et complétée en 1983 ; l'objectif était d'aider les constructeurs, plutôt que de les laisser se «dépatoïiller» avec des difficultés qui sont, qu'on le veuille ou non, occasionnées par les pesticides ;

b) d'avoir commencé à inclure dans les étiquettes de ses acaricides (cas du Nomolt, par exemple) des recommandations et des contre-indications concernant les matériaux.

*Cette étude a été donnée gratuitement à la Société Technique et Economique, 5, rue Jules-Lefebvre 75009 Paris, qui avait accepté de la publier à ses frais.

Généralités

Pour un ingénieur de bureau d'études, le facteur limitant est la gamme de matériaux réellement disponibles correspondant à son cahier des charges. Il n'y a aucun doute que si l'on pouvait réaliser des appareils en titane, en Teflon (Polytétrafluoréthylène), en Kalrez (Elastomère perfluoré) et en céramique d'alumine frittée, il n'y aurait plus de problèmes. Mais la construction et l'entretien de tels appareils défierait les techniques classiques et le coût en serait prohibitif.

Par conséquent, l'ingénieur de bureau d'études doit recourir à des matériaux courants et économiques à la portée des constructeurs, des réparateurs et des utilisateurs. L'inconvénient est que la gamme classique de matériaux montre rapidement des incompatibilités majeures. Par exemple, le choix pour des tuyauteries souples se limite essentiellement au Polychlorure de vinyle (PVC) et à quelques caoutchoucs dont aucun n'est totalement adapté à cet usage. C'est pourquoi, il faut inévitablement chercher autre chose, soit parmi des matériaux plus nobles soit parmi des matériaux composites (par exemple, des tuyauteries en caoutchouc classique avec un revêtement interne constitué de plusieurs couches d'un tissu tramé de polyamide). Il apparaît également qu'il n'existe pratiquement aucun élastomère ou caoutchouc, de caractéristiques mécaniques permettant d'en faire des joints ou des membranes, qui résiste chimiquement de façon parfaite à tous les solvants utilisés en agrochimie.

Compatibilité des plastiques et des caoutchoucs avec les solvants

Dans l'étude précitée, dont nous reprenons les données, sous forme résumée, dans les Tableaux III et IV, nous avons examiné le cas d'une quarantaine de familles de matières plastiques (essentiellement des thermoplastiques) et d'une vingtaine de familles de caoutchoucs ou d'élastomères, alors que les constructeurs n'emploient plus ou moins communément qu'une douzaine des premières et une demi-douzaine des seconds. Notre objectif était de leur donner, peut-être, quelques idées à exploiter.

Matières Plastiques

L'examen montre que :

a) très peu de matières plastiques présentent une résistance polyvalente à l'ensemble des solvants. On ne peut guère citer que :

- le Polytétrafluoréthylène (PTFE) : Algoflon, Fluon, Hostaflon, Soreflon, Teflon - Applications : joints, tuyauteries, segments de piston, revêtements, etc.

- le Polyfluorure de vinyle (PVF) : Tedlar - Applications : revêtements

- le Polyamide 612 (PA 612) : Vestamid, Zytel - Applications : cf ci-dessous

- le Polysulfure de phénylène (PPS) : Ryton - Applications : revêtements

b) quelques autres résolvent un grand nombre de cas de figure :

- les Polyamides 6 - 66 et 610 (PA 6-66-610) : Akulon, Durethan, Grilon, Maranyl, Nylon, Orgamide, Renyl, Technyl, Trogamid, Ultramid, Vestamid, Zytel, etc. - Applications : engrenages, paliers, soupapes, revêtements, etc.

- les Polyacétals (POM) : Acétal, Delrin, Hostaforn, Kematal, Ultraform - Applications: engrenages, paliers, corps de pompe, robinetterie, etc.

Tableau III. Compatibilité de diverses matières plastiques avec les solvants agrochimiques

Plastiques	Solvants					
	Hydro-carbures aliphatiques	Hydro-carbures aromatiques	Hydro-carbures chlorés	Alcools	Glycols	Cétones
Polyéthylène basse densité	2-3	2-3	3	1	1	1-3
Polyéthylène haute densité	1-2	2-3	2-3	1	1	1-2
Polypropylène	1-3	3	3	1	1	1-2
Copolymère Ethylène-Acétate de vinyle	2-3	3	3	1-3	1-2	1-3
Polyamides 6-66-610	1	1	1-3	1	1	1
Polyamides 11-12	1	1-2	2-3	1-2	1-2	1-2
Polyamide 612	1	1	1	1	1	1
Polycarbonate	1-3	3	3	1-2	1-3	3
Polyoxyméthylène (Polyacétal)	1	1	1-2	1	1-2	1-2
Polystyrène	2-3	3	3	1	1	3
Copolymère Styène-Acrylonitrile	1-3	3	3	1-3	1	3
Acrylonitrile-Butadiène-Styrène	1-3	3	3	1-3	1-2	3
Polyacrylonitrile	1	1	1-3	1-2	1-3	1-3
Polyéthylène Téréphtalate	1	1	2-3	1	1	1-3
Polychlorure de Vinyle	1-3	3	3	1-3	1	3
Polychlorure de Vinylidène	1	2	1-3	1	1	2-3
Oxyde de Polyphénylène	2-3	3	3	1-2	1	3
Polysulfure de Phénylène	1	1	1	1	1	1
Polyether Block Amide	2	2	1-2	1-2	1	?
Polytétrafluoréthylène	1	1	1	1	1	1
Polyfluorure de Vinyle	1	1	1	1	1	1
Polyesters	1	1-3	1-3	1-2	1-3	3

Notation : 1 = compatible; 2 = attention-résistance limitée; 3 = déconseillé.

c) quelques autres encore nécessitent beaucoup de prudence, comme :

- le Polyéthylène haute densité (PE) : marques extrêmement diverses - Applications : réservoirs, tuyaux, raccords, filtres, revêtements, etc.

- le Polypropylène (PP) : idem - Applications : tuyaux, robinetterie, montures de filtres, etc.

- le Polyacrylonitrile (ABA) : Barex - Applications : emballages

- les Polyesters (UP) : marques extrêmement diverses - Applications : réservoirs.

d) presque toutes les autres n'ont aucun intérêt pour les usages considérés ici.

Caoutchoucs et élastomères

Si la gamme des matières plastiques offre quelques possibilités de résoudre relativement bien les problèmes de corrosion, celle des caoutchoucs et élastomères ne le permet pas.

Un seul produit, à notre connaissance, est donné pour résister à tous les solvants. Il s'agit d'un élastomère perfluoré, le Kalrez, mis au point par Du Pont de Nemours il y a une dizaine d'années et qui allie l'inertie chimique du Téflon aux propriétés mécaniques

Tableau IV. Compatibilité des caoutchoucs et élastomères avec les solvants agrochimiques

Caoutchoucs et élastomères	Solvants					
	Hydro-carbures aliphatiques	Hydro-carbures aromatiques	Hydro-carbures chlorés	Alcools	Glycols	Cétones
Polyisoprène naturel	3	3	3	1-2	1	3
Polyisoprène synthétique	3	3	3	1-2	1	3
Polybutadiène	3	3	3	1-2	1-2	3
Styrène-Butadiène	3	3	3	1-2	1-3	3
Isobutylène-isoprène (Butyle)	3	3	3	1	1	1-2
Chloro-Isobutylène-Isoprène	3	3	3	1	1	2
EPR	3	3	3	1	1	1
EPT	3	3	3	1	1	1-2
EPT-Polypropylène	3	3	3	1	1	1-2
Polyéthylène chlorosulfoné	3	3	3	1	1	3
Polynorbornène	3	3	3	1-2	1	2-3
Chloroprène	3	3	3	1	1	3
Butadiène acrylonitrile (Nitrile)	1	3	3	1-2	1	3
D'Epichlorhydrine	1	3	3	1	1	3
Polyuréthane	1	2	3	2	1-2	3
Acrylique	1-2	3	3	1-3	1-3	3
Thioplaste	1-2	1-2	3	1	3	1-3
De Silocones	3	3	3	1-2	1	3
De Fluorosilicones	1	1-2	2	1	1	3
Fluorés	1	1	1	1	1	3
Perfluorés	1	1	1	1	1	1
Polyesters	1	2	3	1	1	2

Notation : 1 = compatible; 2 = attention-résistance limitée; 3 = déconseillé.

du Viton. En raison des difficultés de fabrication et d'usinage de ce matériau — et de son coût également ! — Du Pont de Nemours a créé un laboratoire spécial et une équipe d'ingénieurs pour étudier, directement avec les clients, leurs problèmes spécifiques .

Tous les autres caoutchoucs ou élastomères :

- résistent bien aux alcools, aux glycols et aux cétones, mais pas aux hydrocarbures ;
- résistent bien aux hydrocarbures, aux alcools, aux glycols mais pas aux cétones ;
- ou ne résistent à peu près à aucun solvant.

Conclusions

L'existence de difficultés rencontrées par les utilisateurs à cause des phénomènes de corrosion est indéniable. Il est également indéniable qu'il ne serait pas éthique de la part de l'industrie agrochimique de laisser les utilisateurs seuls face à leurs problèmes.

Dans le passé, des problèmes identiques ont été résolus par une collaboration entre sociétés phytosanitaires et fabricants de pulvérisateurs, dans des cas de figure tout aussi difficiles impliquant des solvants particulièrement agressifs (dichloréthane, isophorone).

Plus récemment, lorsque les traitements en ULV se sont généralisés sur cotonnier, la mise au point des appareils centrifuges manuels a dû surmonter des obstacles du même genre. Il y a quelques mois à peine, un grand constructeur m'expliquait que les pistons de pompe de ses pulvérisateurs à dos «ne tenaient pas». Et pour cause, le matériau choisi ne risquait pas de résister.

C'est pourquoi, tous ceux qui ont rencontré ou rencontrent des problèmes de corrosion sont cordialement invités à en faire part aux fabricants des pesticides incriminés.

17

L'environnement et la lutte anti-acridienne : les perspectives et les contraintes de la recherche

M.N. de VISSCHER

PRIFAS/CIRAD, BP 5035, 34032 Montpellier Cédex 1, France.

Dans le cadre de cet exposé consacré aux problèmes des effets de la lutte anti-acridienne sur l'environnement, ce dernier terme se réfère non seulement à la flore et à la faune sauvage mais aussi à l'Homme et à ses activités au sein de ces ensembles écologiques. La question de la protection des habitants des régions concernées et des opérateurs de la lutte sur le terrain correspond en outre au souci le plus ancien et le plus partagé par l'ensemble des services de la Protection des Végétaux. Bien souvent, la notion d'«Environnement» de la lutte antiacridienne est même réduit à ce seul objet.

Dans un rapport de missions de la FAO* sur la campagne anti-acridienne de 1987 au Sahel, le paragraphe «Impact sur l'environnement» traite toujours de la protection des travailleurs sur le terrain et exclusivement de cela dans six cas sur dix. Dans quelques cas seulement, il est fait allusion aux effets négatifs possibles sur les ennemis naturels des espèces nuisibles aux hommes tels que les parasites des oothèques de sauteriaux ou de la cochenille du manioc. Seuls deux rapports citent un éventuel effet sur les ruchers ainsi que sur des oiseaux se nourrissant de sauteriaux morts.

Ce souci des effets sur l'environnement, en élargissant cette notion aux ensemble écologiques au sein desquels non seulement l'Homme mais aussi un grand nombre d'espèces végétales et animales peuvent se développer, est cependant en train de prendre de l'importance en Afrique en particulier dans les programmes de contrôle chimique à grande échelle des espèces nuisibles. C'est ainsi qu'il existe par exemple déjà des programmes de suivi des effets environnementaux des traitements chimiques contre la mouche Tsé-tsé ou

* FAO, 1987. Evaluation de la campagne 1987 contre les sauteriaux. Rapport de Mission dans divers pays. W/S 6206.

contre d'autres vecteurs de maladies humaines (paludisme, onchocercose...). Ceci témoigne d'une attention grandissante à ce problème non seulement chez les responsables nationaux mais aussi chez les bailleurs de fonds (pression publique croissante sur ce thème).

Les données objectives sur ce thème sont malheureusement encore trop rares ou trop dispersées dans le cas de l'Afrique en particulier pour la zone de lutte contre le Criquet pèlerin (*Schistocerca gregaria*, Forskal 1775) pour être déjà utile en matière de mesures pratiques à prendre lors des traitements chimiques. Il faut donc en priorité multiplier les programmes de recherche bien ciblés sur ce thème.

Les risques pour l'environnement

Tout d'abord, il faut rappeler que malgré le manque de données fiables sur les effets des traitements acridicides sur l'environnement, les raisons de s'inquiéter ne manquent pas.

En effet, l'épandage de millions de litres d'insecticides pour lutter contre les acridiens les plus importants tels que le Criquet sénégalais (*Oedaleus senegalensis*, Krauss 1877, nom de code OSE) ou le Criquet pèlerin (*Schistocerca gregaria*, Forskal 1775, nom de code SGR) sur de vastes superficies ne peut pas rester sans effet sur les écosystèmes sahéliens et sahariens y compris les hommes qui y vivent.

a. La Taille des surfaces traitées et la quantité de pesticides utilisées sont considérables. Le tableau ci-dessous donne quelques exemples.

Campagne	Surfaces traitées (ha)		Quantité de pesticides (L ULV)	
	1986	1988/89	1986	1988/89
Mauritanie	324 700	876 000	47 000	373 000*
Sénégal	900 000	2 165 000	492 000	1 075 000
Mali	478 000	410 000	200 000	232 000*
Niger	480 000	967 800	70 000	593 000*
Tchad	194 000	105 000	59 000	96 000*
Burkina	232 140	9 000	73 780	-

* (ULV + CE)

Sources = Rachadi T. (1986). Mission Transahélienne II, Point de la situation acridienne à la fin de la saison des pluies 1986, Bilan de la lutte antiacridienne. Fondation de France, CIRAD/PRIFAS, P. 244 : 119 p.

FAO. (1989). Comité FAO de lutte contre le Criquet pèlerin; Trentième session Rome, du 12 au 16 juin 1989. Rapport de réunion AGP/1989/M/2.

Pierrot A. (1985) : L'invasion du Sénégal par le Criquet pèlerin (*Schistocerca gregaria*, Forskal, 1775) d'avril 1988 à février 1989. Direction de la protection des Végétaux du Sénégal.

Bien que les chiffres ci-dessus soient à considérer avec certaines précautions, ils sont exemplaires à divers titres :

- 1986 correspond à une année d'invasion grave d'OSE et 1988/89 au dernier pic d'invasion du Sahel par SGR. Globalement les surfaces concernées augmentent avec la lutte contre SGR sans compter l'incorporation de pays non touchés par OSE tel que le Maroc. Par contre certains pays comme le Mali font le même effort contre SGR ou OSE. Ce dernier apparaît, en effet, plus directement dangereux pour les cultures à certaines

périodes de son développement tandis que SGR peut ne faire que transiter (cas du Tchad ou du Mali en 88/89) sans s'approcher des cultures ni inquiéter les paysans. Le Burkina est l'exemple du pays beaucoup plus concerné par la lutte contre les sauteriaux que contre SGR, au cours de ces dernières années. Les risques environnementaux liés à la lutte anti-acridienne ne sont donc pas limités aux périodes et à l'aire d'invasion du Criquet pèlerin. En effet, la lutte contre les sauteriaux implique également et régulièrement de grandes superficies bien que les biotopes et les périodes de traitement puissent être différents de ceux de SGR.

- de 1986 à 1988, les méthodes de lutte ont sensiblement évolué notamment avec l'extension géographique des opérations pour atteindre SGR en régions moins accessibles. Les traitements par voie aérienne ont augmenté ainsi que la quantité de produit en formulation ULV/UBV (Ultra Bas Volume) sans parfois de relation directe avec l'accroissement des superficies traitées et des doses nécessaires pour le Criquet pèlerin. En Mauritanie et au Niger, le rapport quantité de produit/superficie traitée est passé de 0,14 l/ha à environ 0,5 l/ha (soit env. x 4), au Tchad de 0,3 l/ha à 0,91 l/ha (env. x 3). Au Mali et au Sénégal par contre, la quantité de produits reste comparable aux environs de 0,5 l/ha.

b. L'usage des formulations ULV/UBV est, comme mentionné plus haut, en pleine expansion. Les insecticides sous cette forme possèdent, en effet, un meilleur rendement à l'épandage en garantissant un optimum de répartition des produits qui sont alors utilisés sous des formes concentrées. Les très fines gouttelettes atteignent les cibles avec plus d'efficacité avec des doses plus faibles à l'hectare.

Du point de vue de l'environnement, la quantité totale de produits toxiques épandus sera moins élevée avec un moindre risque d'accumulation locale qu'avec des techniques plus traditionnelles (poudre, formulation EC, produits émulsionnables). Par contre ces traitements sont également plus efficaces pour la faune non cible qui en souffrira d'autant plus. Finalement la qualité de répartition des ULV garantit aussi une meilleure dispersion des produits dans tout l'environnement cible et non cible.

c. Le recours de plus en plus fréquent aux traitements aériens implique d'une part un sécurité accrue pour les opérateurs de terrain moins directement exposés aux traitements eux-mêmes et d'autre part le traitement de plus vastes superficies d'un seul tenant et une moindre précision dans le repérage exact des cibles.

Les grandes parcelles de traitements signifient nécessairement selon la saison et le type d'organisme une possibilité de cicatrisation ou de récupération de la faune non cible plus lente si elle doit se faire à partir des zones non touchées voisines. Un épandage d'organophosphoré aux doses recommandées pour SGR entraîne par exemple une disparition temporaire d'une grande partie de l'entomofaune ainsi que la désertion de cette zone par les oiseaux insectivores privés de proie. Les capacités de recolonisation des insectes sont alors différentes selon que la végétation y est encore verte ou en voie de dessèchement, selon leur facilités de déplacement, les insectes aériens apparaissent ainsi toujours les premiers.

De plus, des parcelles plus vastes ont plus de chance de contenir la totalité d'un biotope fragile que de petites superficies dont la recolonisation peut être lente en raison de son isolement topographique et écologique au sein d'une formation plus vaste (lisières d'oueds ou oasis).

Dans les conditions de travail du Sahel, les épandages «inutiles» en dehors des cibles sont plus fréquents avec des moyens aériens à grande échelle. En effet, le balisage indispensable des parcelles est souvent aléatoire dans ces régions difficiles pour les véhicules des équipes au sol qui manquent, en outre, bien souvent de moyens adéquats d'orientation.

On en a vu certaines qui travaillaient sans carte, sans boussole, ne pouvant se baser que sur les connaissances des guides locaux. Les traitements au sol à partir de véhicules pourraient alors être plus précis mais par contre ils impliquent en cas de manque de moyens d'orientation certains risques de sur ou de sous-dosage tout aussi indésirable pour l'environnement (le sous-dosage oblige à retraiter avec un gaspillage de moyens et un risque d'impact négatif accru sur l'environnement).

d. La politique de décentralisation des moyens de lutte au bénéfice de petites équipes locales réparties sur de vastes territoires en des points stratégiques répond à un souci légitime d'efficacité pour une cible très mobile et de responsabilisation des populations locales. Par contre, elle n'est pas sans risque pour l'environnement et la santé des hommes. En effet, les produits sont très largement distribués sur tout le territoire sans que leur usage puisse en être parfaitement contrôlé. Les détournements de ceux-ci à des fins autres que le contrôle des acridiens sont donc plus aisés au détriment des populations mal informées des dangers de ses produits (soin des blessures d'animaux domestiques, désinfection des cases...). L'effort de formation du personnel et la fourniture de matériel de sécurité pour toutes les manipulations ne suivent pas toujours le rythme de multiplication des équipes locales en lutte. On voit ainsi des hommes fatigués, obligés de déplacer sans instrument de levage des fûts trop lourds qui chutent ou des opérations de remplissage de cuves montées sur véhicule sans l'aide d'entonnoir ou de pompe avec tous les risques d'écoulement de produits au sol et sur les opérateurs. Le problème du recyclage des fûts vides est lié en partie à la dispersion des dépôts d'insecticides. Ces emballages devraient être théoriquement détruits, percés ou écrasés pour les rendre inutilisables évitant tout risque d'intoxication pour les populations. En pratique, comment contrôler le devenir de tous ces fûts dispersés sur de vastes territoires où tout récipient possède une valeur marchande trop élevée pour être négligée. Cette question avec celle du suivi des stocks d'insecticides périmés et dégradés semble être actuellement d'une grande actualité pour les organisations responsables de la protection des végétaux comme en témoignent la récente réunion d'Accra et celle de Niamey prévue pour janvier 1990 sous l'égide de l'USAID.

e. Le problème de la toxicité des produits de lutte est trop vaste pour être largement abordé dans le cadre de cet exposé. Quelques points intéressants peuvent cependant être soulignés.

Après l'abandon des organochlorés, les risques de persistance et de bio-accumulation dans l'environnement ont nettement diminué. Par contre, les produits comme le fénitrothion, le malathion, le chlorpyrifos-éthyl ou le DDVP (Dichlorvos), pour ne citer que les plus utilisés et les organophosphorés, ne sont pas anodins pour l'environnement. Pour pallier l'absence de rémanence ils sont épandus plusieurs fois sur les mêmes zones à des doses qui, même non cumulées, sont proches des doses à risque pour certains organismes. Des études sur les effets du fénitrothion sur les oiseaux en forêt tempérée suggèrent de ne pas dépasser la dose de 300 g ma/ha, soit les 3/5 de la dose préconisée pour le SGR. Des cas de mortalité massive d'oiseaux lors de la dernière campagne 88/89 notamment au Sénégal confirme la toxicité directe de ce produit pour ces organismes. De plus, ces insecticides compensent l'absence de rémanence d'effet par une forte toxicité directe et immédiate. Le DDVP, très satisfaisant pour l'opérateur qui voit littéralement les criquets tomber en pluie pendant le traitement, est violemment toxique pour les oiseaux, les abeilles et les poissons au point de ne plus être utilisé en champs aux USA.

Ces produits généralement peu dangereux pour les mammifères en cas d'utilisation normale peuvent pourtant affecter indirectement l'Homme en attaquant ses productions.

C'est ainsi que de nombreux producteurs de miel se sont plaints lors des campagnes anti-acridiennes de mortalité dans les ruches après épandage de malathion dont la toxicité pour les abeilles est reconnue. Aux USA, il est recommandé de retirer les ruches des zones traitées au moins 48 h à 72 h ou d'éviter les épandages durant les heures chaudes quand les abeilles se nourrissent intensément. Même le pollen ramené par une ouvrière peut intoxiquer les occupants d'une ruche.

Tout cela commence à être bien connu pour les zones agricoles tempérées, reste à savoir maintenant ce qui se passe en milieu tropical, subtropical, et méditerranéen où se pratique la lutte anti-acridienne. C'est l'affaire des chercheurs qui se doivent de travailler en liaison étroite avec les praticiens de la lutte. Il s'agit, en effet, de bien comprendre les effets des traitements sur l'environnement, mais aussi de déboucher sur des propositions réalistes permettant de contrôler les acridiens avec un minimum d'impact négatif pour l'environnement.

Perspectives et contraintes de la recherche ecotoxicologique

Deux approches peuvent être appliquées aux recherches ecotoxicologiques sur le terrain en marge de la lutte anti-acridienne.

- L'approche expérimentale qui consiste à étudier intensivement des zones traitées en conditions très contrôlées.

- L'approche opérationnelle qui consiste à utiliser les situations concrètes bâties par la nature en interaction avec des opérations réelles de lutte comme de multiples objets d'études nécessairement plus extensives. Ces travaux sont généralement menés en étroite collaboration avec les acteurs de la lutte anti-acridienne.

Ces deux démarches peuvent être parfaitement complémentaires dans la mesure où les méthodes de recherche permettent d'obtenir des données comparables (consensus préalable) et de résoudre ensemble les problèmes posés par ce genre d'étude en Afrique. Une récente opération pilote menée au Sénégal, avec le financement des Pays-Bas, sous l'égide de la FAO, est un exemple. Le PRIFAS, en tant qu'unité de recherche sur l'écologie des acridiens et sur les moyens de les contrôler, a été, en effet, invité à participer temporairement à cette expérience qui se déroula à Richard-Toll de juin à octobre 1989.

Plusieurs défis sont lancés aux recherches ecotoxicologiques en marge de la lutte anti-acridienne :

Ajuster la localisation et la taille des zones d'étude à celle des opérations de lutte

Afin de pouvoir obtenir des résultats réalistes ou traduisibles en termes d'opérations de lutte, il est indispensable d'ajuster la taille des parcelles d'étude ecotoxicologique aux dimensions des parcelles réellement utilisées dans la pratique de la lutte ainsi que de les localiser dans des régions et sur des biotopes les plus susceptibles d'être traités.

Les chercheurs qui s'intéressent à l'étude des impacts de la lutte chimique sur l'environnement se doivent donc de bien connaître à la fois les caractéristiques de l'organisme cible (biologie, écologie, comportement) et de son environnement ainsi que celles des opérations de lutte sur le terrain.

Dans le projet réalisé au Sénégal, mentionné plus haut, les parcelles expérimentales qui couvraient 400 à 600 ha chacune étaient localisées sur une pseudo-steppe arbustive proche du fleuve Sénégal, à l'est de Saint-Louis. Le choix d'un épandage aérien à la fin du mois d'août se justifiait du point de vue de la lutte contre le Criquet pèlerin dont la présence à cet endroit et à cette saison n'était pas exceptionnelle. De même, le choix des produits et des doses testées correspondait aux recommandations relatives au Criquet pèlerin et à certains cas de surdosage assez fréquemment pratiqué.

Dans une démarche opérationnelle, ce genre de problème ne doit pas se poser dans la mesure où les sites de suivi écotoxicologique sont situés dans les zones traitées durant la campagne mais avec tous les aléas qu'implique la pratique quotidienne d'un Service de Protection des Végétaux.

Ce genre d'approche exige de bonnes relations avec ces Services mais aussi de bien connaître les acridiens et les méthodes de lutte les plus courantes. En effet, le choix des parcelles se fera sur place et immédiatement avec des équipes chargées de la lutte en connaissant les difficultés du terrain et les problèmes des traitements. La localisation des sites témoins indispensables pour la validité des données doit par contre se faire assez tôt sur la base d'une connaissance approfondie de l'acridien-cible permettant de choisir une région et des biotopes similaires à ceux qui seront traités.

L'intérêt d'une collaboration entre écologues et acridologues se perçoit bien à ce niveau. Non seulement ce dernier contribue au bon choix des sites d'étude mais permet aussi par un suivi des effets des traitements sur la cible de valider les résultats écotoxicologiques par rapport aux résultats obtenus du point de vue de la lutte.

Le suivi des acridiens a, par exemple, permis dans le cas de l'expérience, réalisée au Sénégal, d'identifier avec précision les secteurs de parcelle accidentellement non atteints par le produit. L'évolution des densités acridiennes est en outre un bon indicateur de la durée d'action des insecticides pour les cibles et peut-être pour les non-cibles. Il pourrait aussi un jour être possible de mettre en relation les densités acridiennes avec l'importance de certains effets des produits sur la faune non cible (invertébrés notamment).

Finalement, il n'est pas réaliste de concevoir une recherche écotoxicologique expérimentale de terrain qui ne tiendrait nullement compte de la situation acridienne de la zone. En effet, la présence d'acridiens à de très fortes densités influe nécessairement sur la composition de la faune non cible de la zone. Les populations de certains oiseaux prédateurs peuvent s'accroître de façon très notable autour des essaims et des bandes larvaires de criquets pèlerins. Une enquête préliminaire menée l'année dernière démontre une tendance généralisée chez tous les vertébrés à consommer du Criquet pèlerin en cas d'invasion et cela même pour des espèces non insectivores comme la Tourterelle. D'autres comme le Busard cendré (*Circus pygargus*) au Sénégal ne se nourrissent plus que de cela pendant tout son hivernage (Baillon, com. pers.), faisant mal la distinction entre les individus sains et les moribonds à la suite d'un traitement. Le même phénomène doit exister au niveau des parasites et des prédateurs invertébrés inféodés aux acridiens qui souffriront d'autant plus des traitements.

Identifier les indicateurs d'effets indésirables sur l'environnement

L'étude des effets des traitements sur la faune non cible est généralement basée sur le suivi des populations (composition, abondance, structure) de certains groupes d'espèces suivant des méthodes d'échantillonnage variables selon le groupe.

Dans chacun des groupes de faune étudiés, l'accent est mis sur l'étude d'indicateurs ou d'espèces intéressantes à divers titres.

En effet, si les méthodologies de travail sur le terrain en écotoxicologie ne diffèrent pas de celles des études de populations des mêmes organismes, toute la différence se situe au niveau de l'analyse et de l'interprétation des données. Une question importante, par exemple, posée à l'écotoxicologue réside dans le choix des espèces ou des comportements à étudier en particulier ou encore dans le choix des indicateurs des effets éventuels des traitements sur l'environnement non-cible.

Ces indicateurs peuvent avoir diverses caractéristiques :

- organismes qui jouent un rôle important pour les cultures tels que les pollinisateurs, les parasites et les prédateurs d'espèces nuisibles (ex : diptères, hyménoptères...);
- organismes importants pour le recyclage de la matière et la fertilisation des sols (boussiers, fourmis, termites...);
- organismes sensibles à la perturbation des mécanismes de production dans les différents biotopes tels que les prédateurs dépendants d'une longue chaîne alimentaire;
- organismes abondants et aisés à observer.

S'il est relativement facile de trouver chez les insectes des espèces indicatrices parce que directement utiles à l'Homme et à ses cultures (pollinisateurs, parasites ou prédateurs d'espèces nuisibles...) la tâche sera moins aisée chez les oiseaux. Ces derniers sont par contre souvent faciles à observer et possèdent une valeur éthique et esthétique largement reconnue. Le niveau trophique élevé qu'occupent ses espèces prédatrices leur confère en outre une valeur d'indicateur de perturbation générale des mécanismes écologiques.

Sur le plan écotoxicologique, il est primordial de pouvoir interpréter les impacts visibles au niveau de quelques populations indicatrices en terme de devenir des communautés ou de mécanismes de fonctionnement écologique. Il s'agit donc de mesurer l'importance de la perturbation et finalement les capacités et le délai de cicatrisation pour un retour à l'état initial. Ce phénomène est largement dépendant de la date des traitements, de la superficie et des types de milieux traités ainsi que des capacités de déplacement ou de reproduction des différents groupes d'organismes. De plus, la disparition même temporaire de tous les organismes n'a pas le même impact écologique. L'absence de coléoptères détritivores est, par exemple, très pénalisante pour le recyclage de la matière dans le sol alors que le manque de libellules ou de papillons se marquera surtout au niveau de leurs prédateurs qui devront attendre leur retour pour pouvoir à nouveau se nourrir dans la zone traitée.

L'analyse chimique des résidus de produits se propose d'étudier les résidus d'insecticides et leur évolution dans le temps. Cela permet de mieux percevoir certaines voies de pénétration des produits au niveau de la faune non-cible et de mesurer leur temps de rémanence à différents niveaux trophiques.

La faisabilité de ce genre d'analyse est discutée par certains. D'une part, les organophosphorés très peu rémanents disparaissent rapidement, notamment après ingestion. D'autre part, l'analyse exige un grand nombre d'échantillons y compris des témoins qui serviront simplement à étalonner les mesures par injection d'une dose connue de produit.

L'analyse du degré d'exposition aux organophosphorés de certains groupes de faune non-cible se mesure au niveau du taux d'acétylcholinestérase (ACHE) dans des échantillons de cerveaux. Les organophosphorés provoquent en effet un blocage de l'influx nerveux au niveau de la transmission entre neurones en se fixant définitivement sur les sites actifs de l'acétylcholinestérase. Cette dernière ne peut plus jouer alors son rôle d'enzyme

modérateur du taux d'acétylcholine, médiateur chimique de l'influx nerveux. Cela entraîne des paralysies qui peuvent être fatales notamment pour les espèces cibles des traitements. Une exposition aux organophosphorés se traduira donc toujours par une réduction du taux d'acétylcholinestérase plus ou moins grave et prolongée selon le cas. Ce genre de dépression a, par exemple, été fréquemment observée chez les oiseaux, notamment en liaison avec des troubles du comportement reproducteur. Le retour à la normale du taux de cette enzyme est lent et s'étale sur plusieurs dizaines de jour chez les oiseaux (J. Keith, com. pers).

Les Services de Protection des Végétaux de certains pays comme le Sénégal, le Maroc ou la Gambie se sont d'ailleurs attachés à suivre le taux d'exposition des travailleurs aux organophosphorés. Les résultats sont à la fois partiels et contradictoires tout en démontrant pourtant l'existence de cas de chute importante du taux de ACHE.

Tous les résultats de ces analyses qui sont souvent longues et fastidieuses n'ont de valeur pratique que s'ils peuvent être reliés à d'autres manifestations des effets des produits observés au niveau des populations de faune non-cible sur le terrain. Dans le cas d'opérations réelles de lutte chimique qui n'ont pas pu être intensivement suivies sur le plan écotoxicologique, des prélèvements de cerveaux peuvent alors donner une indication sur le degré d'exposition de la faune aux insecticides et sur ses conséquences éventuelles pour les populations. Cela n'est vrai que dans la mesure où une récolte d'échantillons témoins avant et hors-traitement est également réalisée puisqu'il ne s'agit que d'une mesure relative.

Ajuster le cadre spatio-temporel des résultats des recherches écotoxicologiques à celui des traitements

Le troisième défi posé aux recherches écotoxicologiques en marge de la lutte antiacridienne est une question de temps et d'espace :

- Dans la mesure où le recours aux méthodes chimiques reste indispensable actuellement, comment dépasser le stade du diagnostic écotoxicologique *a posteriori*, quand les dégâts éventuels ont déjà été faits ?

- Comment dégager des résultats de la recherche, des recommandations directement applicables au niveau des traitements réels dont le suivi est limité à la parcelle et aux effets acridicides immédiats ?

Avec les produits actuels et l'immensité des surfaces traitées, les cas d'intoxications aiguës et immédiates de la faune sont probablement rares et souvent difficiles à détecter. Les courtes visites sur les sites après traitement ne peuvent donc pas apporter assez d'informations utiles sur les éventuels effets indésirables d'autant plus que la plupart se manifestent de façon différée et indirecte.

Prenons le cas complexe des impacts éventuels sur les nichées d'oiseaux. Des couvées peuvent être perdues sur le site même par intoxication directe, ou par abandon des parents qui ne peuvent plus les nourrir par manque de proie. Ceci peut se passer sur la zone mais aussi aux environs en cas de paysages écologiquement hétérogènes ou contrastés. Les oasis servent par exemple de réservoir de nourriture pour des espèces qui nichent aux alentours. Dans ce cas où s'arrête la zone à étudier ?

Un suivi efficace des effets indésirables sur l'environnement doit donc se faire non seulement sur les périmètres traités mais aussi à l'extérieur au niveau des réservoirs d'eau et dans les refuges privilégiés de la faune de la région.

De même, pendant combien de temps doit-on suivre les populations pour mesurer exactement l'impact de pertes d'individus au niveau démographique ?

Cette dernière question est complexe pour les oiseaux car le comportement de nombre des espèces nicheuses au Sahel, par exemple, semble être en conditions normales beaucoup moins déterminé qu'en région tempérée : de nombreux nids ou colonies sont temporairement abandonnés en cours de construction ou après la naissance des jeunes; le succès de reproduction est faible et le synchronisme des reproductions modéré pour une même espèce. Dans un tel contexte, ces populations sont-elles plus à même de «supporter» la perte d'un certain nombre de nichées ou de recommencer ailleurs une nouvelle couvée tant que la saison reste favorable ?

Que se passe-t-il avec les espèces migratrices qui retournent en Europe pour se reproduire parfois des mois après les traitements ?

Les recherches doivent donc pouvoir se poursuivre sur de vastes zones et de longues périodes et produire aussi des résultats suffisamment tôt pour encore influencer sur les opérations de lutte. Une possibilité est de se servir comme le suggère une démarche plus opérationnelle des zones effectivement traitées en cours de campagne en multipliant les sites d'étude et en insistant sur un recours plus systématique au suivi d'indicateurs simples identifiés lors de recherches plus intensives au cours de projets plus expérimentaux.

Apparaît une fois encore ici la complémentarité indispensable des approches opérationnelle et expérimentale. Celle-ci se justifie en outre pour répondre au dernier défi cité ici :

Trouver les moyens nécessaires pour la recherche

La recherche écotoxicologique est coûteuse sur le plan des hommes (ensemble de 13 chercheurs de diverses disciplines pour le projet du Sénégal) et des moyens financiers et techniques surtout qu'elle se situe généralement dans des régions dépourvues de tout appui logistique. Le développement relatif de l'infrastructure et les facilités d'achat à Dakar ont joué en faveur du Sénégal pour le choix du site de l'expérience mentionnée ici.

Dans cette optique, le recours à une démarche plus opérationnelle permet entre autres de profiter de moyens matériels consacrés à la lutte anti-acridienne pour mener une recherche plus rentable.

Ce genre de recherche ne peut malheureusement répondre à toutes les questions et des études expérimentales de référence resteront indispensables.

Conclusion

Trois grandes lignes de recherche :

- des risques à étudier impérativement
- des méthodes de travail à perfectionner et à intégrer
- des défis à relever pour les chercheurs et les programmes d'aide à la recherche.

18

Effet des insecticides utilisés pour la lutte anti-acridienne au Maroc sur les eaux utilisées pour l'alimentation en eau potable

H. ABOUZAÏD, L. BOURCHICH et A. FOUTLANE

Département Qualité des Eaux, Office National de l'Eau Potable (ONEP), BP Rabat-Chellah, Rabat, Maroc

Au cours de ces dernières années, la menace acridienne s'est aggravée dans certains pays africains et particulièrement dans le Sahel.

Pour faire face à l'invasion acridienne, différents insecticides ont été utilisés au Maroc à partir du mois d'octobre 1987 dont notamment le malathion, le DDVP, le sumithion, le fenthion et le HCH.

L'ONEP, producteur et distributeur d'eau potable et chargé du contrôle de la pollution des eaux susceptibles de servir à l'alimentation humaine, en liaison avec les autorités compétentes, a organisé des campagnes de contrôle du taux des insecticides dans les eaux utilisées pour l'alimentation en eau potable dans les régions envahies par les criquets. Ces campagnes ont été effectuées en collaboration avec le Ministère de la Santé Publique et avec l'aide matérielle des autorités concernées.

Cette note se propose de donner un aperçu sur certaines propriétés des insecticides utilisés dans la lutte anti-acridienne (toxicité, présence dans l'eau...) et d'évaluer leur concentration aux points d'eau contrôlés.

Nature et propriétés des insecticides utilisés

Tous les insecticides cités ci-dessus appartiennent au groupe des organophosphorés, excepté le HCH qui fait partie des organochlorés.

Tableau I. Informations générales sur les insecticides utilisés dans la lutte contre l'invasion du Criquet au Maroc

Nom et Synonyme	Caractéristiques physiques	Solubilité	Stabilité	Toxicité
Lindane (ISO) Gamma BHC Gamma HCH OMS 17	Solide en cristaux incolores quand il est pur. Point de fusion 112,9°C. Le Lindane ne contenant pas moins de 99% d'isomère à un point de fusion minimum de 112°C.	10 mg/l dans l'eau à 20°C; 6,7% dans l'alcool absolu; légèrement soluble dans les huiles de pétrole, soluble dans l'acétone dans les solvants aromatiques chlorés.	Stable à l'air, à la lumière et à la chaleur et en présence du CO ₂ . Non attaqué par les acides forts mais en présence de bases il est désydraté en trichlorobenzène. Corrosif de l'aluminium.	De toxicité modérée vis-à-vis des mammifères, sa dégradation dans l'environnement est lente. Il peut s'accumuler dans les tissus des mammifères.
Malathion (ISO) OMS 1 Carboox, Fyfanon TM 4049 Mercaptothion	Liquide ambre clair point de fusion 2,85°C et point d'ébullition 156-157°C à 0,7 mm Hg. Odeur de mercaptant. Le produit technique est à 95% pur.	A peu près 145 mg/l dans l'eau à 25°C. Miscible à la plupart des solvants organiques avec une solubilité limitée dans les huiles de pétrole.	Rapidement hydrolysé à pH 7,0 ou 5,0 mais stable dans les solutions aqueuses tamponnées à pH 5,26. Il est incompatible avec les pesticides basiques et corrosif pour le fer.	De toxicité modérée vis-à-vis des mammifères. C'est un inhibiteur indirect de l'enzyme cholinestérase.
DDVP Dichlorvos (ISO) OMS 14	Liquide incolore quand il est pur avec point d'ébullition 35°C à 0,05 Torr. Densité 1,415 à 25°C. Corrosif de l'acier et autres métaux.	0,9% dans l'eau, 2-3% dans la Kérosine miscible aux solvants hydrocarbures aromatiques, hydrocarbures chlorés et aux alcools.	Stable à la chaleur, s'hydrolyse dans les solutions aqueuses. (Demi-vie 23 j.). La décomposition est plus rapide en milieu alcalin et dans les solutions acides fortes. A pH 1, il y a hydrolyse complète en 50 mn à la température ambiante. La vapeur est hydrolysée dans l'air. Compatible avec la plupart des pesticides.	De haute toxicité, mais sa métabolisation rapide le rend sans danger s'il est utilisé dans des conditions correctes, il est directement actif et n'a pas besoin d'être métabolisé.
Fenitrothion (ISO) Baytex, Lebayoid Queltox, Tianvon OMS 2	Pur, il est un liquide incolore presque incolore avec point d'ébullition 87°C à 0,01 mm Hg. Le produit technique est à 95-98% pur; c'est un liquide huileux brun avec une faible odeur d'ail.	54-56 mg/l dans l'eau à 20°C, il est soluble dans la plupart des matériaux organiques et les glycérides.	Il est stable au-dessus de 160°C et résistant à la lumière et à l'hydrolyse alcaline.	De toxicité modérée vis-à-vis des mammifères, il est absorbé à travers la peau, l'appareil digestif et par inhalation. Sa métabolisation aboutit à des métabolites plus toxiques. Suite à une intoxication aiguë, les symptômes tendent à se prolonger.
Sumithion, Fenitrothion (ISO), OMS 43, Folithion Accothion, Novathion Agrothion	Liquide jaune brunâtre, point d'ébullition 145°C à 0,4 mm Hg avec décomposition.	Pratiquement insoluble dans l'eau mais soluble dans la plupart des solvants organiques. Faible solubilité dans les hydrocarbures aromatiques.	Hydrolysable par les bases et sa demi-vie dans NaOH 0,01 N à 30°C est 272 mn. Isomérisé en distillation. Complètement stable pendant 2 ans à 20-25°C.	De toxicité modérée vis-à-vis des mammifères.

Effets des insecticides sur les eaux utilisées pour l'alimentation en eau potable

Tableau II. Toxicité aiguë de certains pesticides utilisés pour la lutte anti-acridienne vis à vis de quelques organismes aquatiques

Pesticides	Organismes testés	Toxicité aiguë (CL 50)*	
		µg/l	heure
Lindane	Crustacés		
	Gammarus lacustris	48	96
	Gammarus fasciatus	10	"
	Simocephalus serrulatus	520	48
	Daphnia pulex	460	"
	Insectes		
	Pteronarcys californica	4,5	96
	Poissons		
	Salmo trutta	2	"
Lepomis macrochirus	68	"	
Dichlorvos, DDVP, Vapona	Crustacés		
	Gammarus lacustris	0,50	"
	Gammarus fasciatus	0,40	"
	Simocephalus serrulatus	0,26	48
	Daphnia pulex	0,07	"
	Insectes		
	Pteronarcys californica	0,10	96
Poissons			
Lepomis macrochirus	369	"	
Fenthion	Crustacés		
	Gammarus lacustris	8,4	"
	Gammarus fasciatus	110	"
	Simocephalus serrulatus	0,62	48
	Daphnia pulex	0,80	"
	Insectes		
	Pteronarcys californica	4,5	96
	Poissons		
Salmo trutta	1330	"	
Lepomis macrochirus	1380	"	
Malathion	Crustacés		
	Gammarus lacustris	1,0	96
	Gammarus fasciatus	0,76	"
	Simocephalus serrulatus	3,5	48
	Daphnia pulex	1,8	"
	Insectes		
	Pteronarcys californica	10	96
	Poissons		
	Salmo trutta	200	"
Lepomis macrochirus	110	"	

* Concentration létale pour 50% de la population testée.

Les différents noms et synonymes, les caractéristiques physiques, chimiques ainsi que la toxicité des insecticides utilisés sont regroupés dans le Tableau I.

Contamination des eaux

La contamination des eaux superficielles peut se faire accidentellement lorsque les eaux de lavage des récipients, cuves ou réservoirs sont déversées en rivière ou dans les égouts, lors du déversement direct de produits dans les eaux ou suite à des apports diffus provenant des pluies ou des terrains traités.

La contamination des eaux souterraines par les insecticides dépend d'un ensemble de phénomènes influant sur leur persistance et leur mobilité ; dégradation, volatilisation, percolation et adsorption sur les sols. La durée de persistance varie d'un produit à l'autre :

- 1 semaine pour le malathion
- jusqu'à 1 mois pour le fenthion,
- 1 an pour le sumithion.
- 3 à 10 ans pour le lindane.

Effet sur le plancton et le poisson

Le HCH est inhibiteur d'algues à partir de très faibles concentrations (10 et même 1 $\mu\text{g}/\text{l}$). L'exposition d'algues pendant 4 h à 1 mg/l du lindane entraîne une réduction de la photosynthèse de 28%. Cette réduction dans les mêmes conditions est de 7% pour le fenthion et le malathion. Les insecticides sont généralement plus toxiques pour le zooplancton (microcrustacés) que pour le phytoplancton. Les concentrations léthales vis-à-vis des poissons sont d'autant plus faibles que les durées d'exposition sont plus élevées et ceci est plus net avec les organochlorés qu'avec les organophosphorés. Le Tableau II regroupe les concentrations toxiques de pesticides pour quelques organismes aquatiques.

Teneur dans les eaux

Dans de nombreux pays, des mesures ponctuelles montrent la présence des insecticides dans les étangs ou les lacs situés à proximité des zones traitées. Aux Etats Unis d'Amérique par exemple, des valeurs de malathion comprises entre 0,01 et 1,22 $\mu\text{g}/\text{l}$ ont été retrouvées dans un étang de ferme après traitement d'une plantation de pêchers et des quantités de fenthion comprises entre 6,7 et 33,5 $\mu\text{g}/\text{l}$ pendant une semaine après une campagne de démoustification.

Limites acceptables pour le taux de pesticides dans les eaux

Les normes de pesticides proposées par différentes instances scientifiques étrangères et internationales dans divers milieux sont résumées dans le tableau ci-après :

* μg = microgramme = 10^{-6} g

Effets des insecticides sur les eaux utilisées pour l'alimentation en eau potable

Produit (s)	Organisation	Norme µg/l	Milieu
Lindane	EPA	4,000	Eau de boisson
		0,010	Vie aquatique
	OMS	0,010	Eau de boisson
Malathion	EPA	0,100	Vie aquatique
DDVP	NAS	0,001	Milieu naturel
Fenthion		0,006	Milieu naturel
Somme des organophosphorés		0,100	Eau brute destinée à la production d'eau potable
Produit individualisé : organophosphoré ou organochloré	CEE	0,100	Eau de boisson

EPA : Agence Américaine pour la Protection de l'Environnement

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

NAS : Académie Nationale Américaine des Sciences

CEE : Conseil des Communautés Européennes

Effet du traitement de potabilisation sur les pesticides dans l'eau

Le traitement conventionnel ne permet qu'une réduction de 0 à 20% des organochlorés pour une concentration initiale de 0,9 µg/l, tandis que le lindane à 50 ng*/l ne serait pas influencé. Le traitement au charbon actif, à l'ozone et peut-être la filtration sur sable permettent d'atteindre des rendements élevés, mais l'oxydation par l'ozone conduit à la formation de métabolites parfois plus toxiques que le produit lui-même.

Effet de la lutte anti-acridienne sur les eaux au Maroc

Superficies traitées

Les régions infestées et traitées sont :

Oujda, Bouarfa, Errachidia, Zagora, Tata, Guelmim, Dakhla et Laayoune. La superficie totale traitée depuis le déclenchement de l'opération de la lutte anti-acridienne (27 octobre 1987) jusqu'au 15 juillet 1988 s'élève à 2 814 000 ha.

Analyses dans les eaux

Les prélèvements ont été effectués par le Ministère de la Santé Publique et par les laboratoires de l'ONEP. Le nombre total d'échantillons analysés par l'ONEP s'élève à 73. Les

*ng = nanogramme = 10⁻⁹ g

régions où ont été prélevés les échantillons pour contrôle sont : Errachidia, Figuig, Ouarzazate, Oujda et Agadir. Les ressources en eau contrôlées sont illustrées sur la carte, objet de la figure 1.

Les échantillons d'eau ont été prélevés dans des flacons en verre brun préalablement nettoyés avec l'eau distillée et rincés avec le mélange sulfochromique puis à l'acétone. L'extraction des pesticides a été faite au moyen de l'hexane et leur dosage a été réalisé par la technique de chromatographie en phase gazeuse.

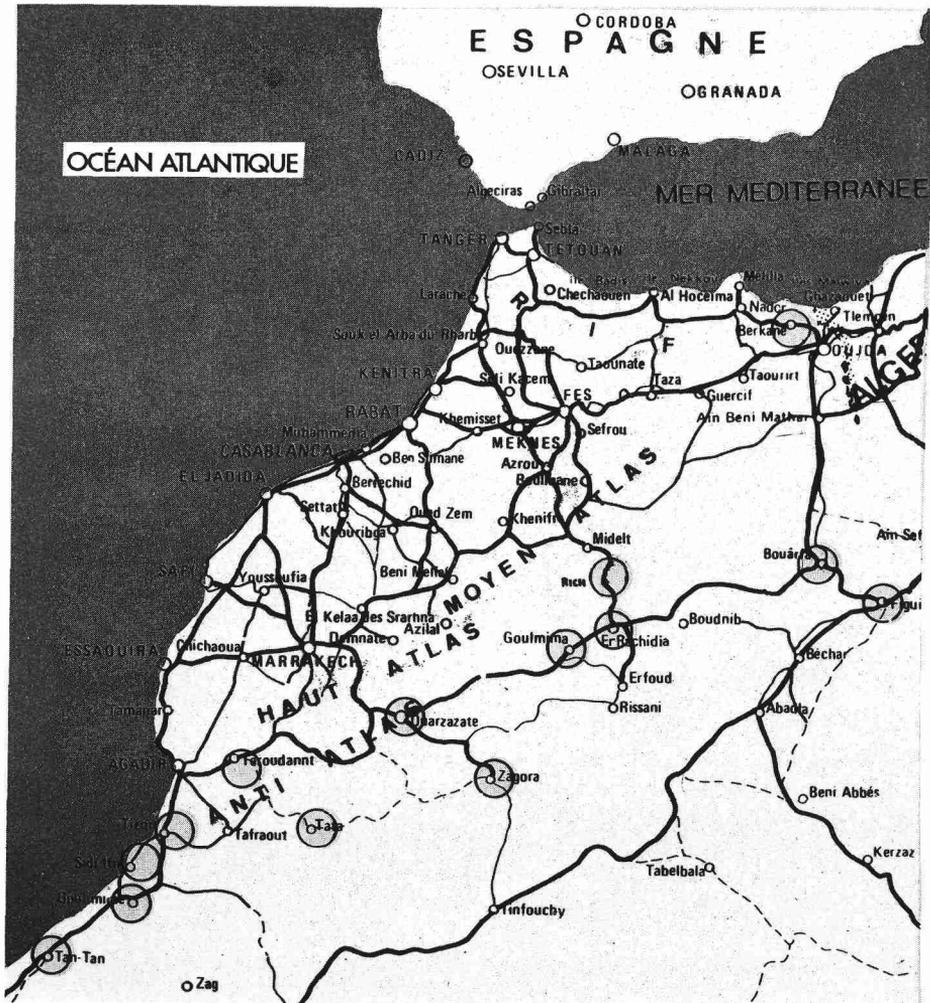


Figure 1. Situation des zones prospectées pour la recherche des pesticides.

Effets des insecticides sur les eaux utilisées pour l'alimentation en eau potable

Tableau III. Résultats d'analyse des pesticides dans les eaux utilisées pour l'alimentation en eau potable entre les mois de janvier et août 1988

Région	Centre	Point de prélèvement	Date de prélèvement	Pesticides organochlorés ng/l*				Pesticides organophosphorés * pg/l				
				Al-drine	Diel-drine	Hep-tachlore	DDT	Lin-dane	Mala-thion	Feni-throthion	Fen-thion	DDVP ng/l
Errachidia	Khemg	Khettara Thaida	"					<0,05	0	0	0	<80
		Rich	Puits IRE 110/39	Août 88	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5			
	Boudenib	Retenue Ksar Magmane	16.5.88					<0,5	2650	0	0	<80
		Puits public ouled Ali Boudnib	"					<0,05	880	0	0	<80
		Barrage de dérivation de Kadoussa	"					<0,05	1220	0	0	<80
	Errachidia	Forage 1227/48	Août 88	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,05				-
		Forage 1237/48	"	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,05				
		Barrage Hassan Dakhil	16.5.88					<0,05	0	0	0	<80
	Goulmima	Khettara Ta Itafraout	15.5.88	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,05				<80
	Ouarzazate	Ouarzazate	Barrage Mansour	14.1.88	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,05			
Eddahbi			31.3.88	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,05				-
			14.4.88	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,05				-
			24.5.88	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,05				-
Skoura	Skoura	Puits Ait Si Hmad							0	630	0	<80
		Puits Boutakhzine							0	0	0	<80
		Puits Ait El Amel M.						*0	1250	0	0	<80
		Idelsane drainage	25.5.88						0	0	0	<80
		Puits Tamesna	25.5.88						0	0	0	<80
Agadir	Taroudant	Puits Zemrane						<0,05	0	0		
									0	0	0	<80
	Tiznit	Barrage Youssef Ibn Tachfine	4.5.88	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,05				
Oujda	Figuig	Oued Zelmoun	14.5.88	<0,5	<0,5	<0,5	9	<0,05	650	100	0	<80
		Sagua Ksar	"	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	930	10800	0	<80
		Ouled Abbas	"	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0	0	0	<80
		Ouled Bani Bassia	"	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0	0	0	<80
		Puits d'Achani Anbaj	"	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0	0	0	<80

* pg : picogramme = 10⁻¹² g; ng : nanogramme = 1000 pg

Tableau IV. Résultats d'analyses des pesticides dans les eaux utilisées pour l'alimentation en eau potable entre les mois d'octobre et novembre 1988

Région	Centre	Point de prélèvement	Date de prélèvement	Pesticides organochlorés ng/l					DDVP ng/l	
				Al-drine	Diel-drine	Hep-tachlore	DDT	Lindane		
Errachidia	Errachidia	Forage 1227/48	22.11.88	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,05	-	
		Forage 1298/48	" "	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,05	-	
		Réservoir 5000 m ³	" "	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,05	-	
	Erfoud	Sortie réservoir 1200 m ³	22.11.88	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,05	-	
		Réservoir 5000 m ³	21.11.88	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,05	-	
	Rissani	Sortie réservoir 250 m ³	21.11.88	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,05	-	
		Borne fontaine Karia								
		Ouled Abdelhalim	21.11.88	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,05	-	
	Aoufous	Sortie réservoir 500 m ³	21.11.88	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,05	-	
	Rich	Puits n° IRE 110/79	23.11.88	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,05	-	
Goulmima	Puits 149/47	28.11.88	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,05	-		
Ouarzazate	Ouarzazate	Puits 412/63	18.11.88	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,05	<80	
		Puits 577/63	" "	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,05	<80	
		Puits 861/63	" "	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,05	<80	
		Barrage Mansour Dahbi	18.11.88	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,05	<80	
	Agdz	Puits 538/64	" "	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,05	<80	
		Taznakht	Puits 742/63	19.11.88	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,05	<80
		Zagora	Puits 999/73	18.11.88	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,05	<80
Agadir	Sidi Ifni	Puits 446 + 532/88	15.11.88	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,05	<80	
		Puits 446/88	19.11.88	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,05	-	
	Taliouine	Puits 564/77	20.11.88	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,05	-	
	Tiznit	Eau brute à l'entrée								
		station traitement	12.11.88	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,05	-	
	Taroudant	Puits 1660/80	20.11.88	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,05	<80	
		Puits 45/70	" "	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,05	<80	
	Talaint	Puits 999/78	17.11.88	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,05	<80	
	Tarthijit	Puits 216/89	19.11.88	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,05	-	
		Puits 216/88	10.11.88	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,05	<80	
	Biougra	Forage 1303/70	20.11.88	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,05	-	
	Bouizakarne	Source 1/88	15.11.88	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,05	<80	
		Source 1/88	17.11.88	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,05	<80	
	Ouled Taima	Puits 450/70	20.11.88	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,05	<80	
		Puits 5065/70	20.11.88	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,05	-	
	Tan Tan	Puits 193	16.11.88	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,05	<80	
		Puits 195	" "	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,05	<80	
		Puits 195/90	10.88	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,05	<80	
		Puits 211	16.11.88	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,05	<80	
		Puits 212	" "	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,05	<80	
		Puits 235	" "	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,05	<80	
		Guelmin	Puits 448/88	16.11.88	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,05	<80
	Puits 593/88		" "	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,05	<80	
	Puits 642/88		" "	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,05	<80	
	Puits 643/88		10.88	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,05	<80	
	Tata	Puits 313/80	19.11.88	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,05	-	
		Puits 314.80	" "	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,05	<80	
Puits 314.90		10.88	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,05	-		

Tableau IV. (suite) Résultats d'analyses des pesticides dans les eaux utilisées pour l'alimentation en eau potable entre les mois d'octobre et novembre 1988

Région	Centre	Point de prélèvement	Date de prélèvement	Pesticides organochlorés ng/l					DDVP ng/l
				Al-drine	Diel-drine	Hep-tachlore	DDT	Lin-dane	
Oujda	Oujda	Forage n° 2404/12	16.11.88	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,05	-
		Forage n° 2364/12	23.11.88	<0,5	<0,5	<0,5	<0,05	-	
	Layoune	Forage n° 850/11	18.11.88	<0,5	<0,5	<0,5	<0,05	-	
		Forage n° 624/11	18.11.88	<0,5	<0,5	<0,5	<0,05	<80	
	Aïn Bani Mathar	Forage n° 3/18	23.11.88	<0,5	<0,5	<0,5	<0,05	-	
			Source 12/17	18.11.88	<0,5	<0,5	<0,5	<0,05	<80
	Taurirt	Forage n° 852/11	18.11.88	<0,5	<0,5	<0,5	<0,05	<80	
	Berkane	Canal Triffas	23.11.88	<0,5	<0,5	<0,5	<0,05	-	

Les insecticides organochlorés et le DDVP (organophosphoré dont la molécule contient des atomes de chlore) ont été analysés à l'ONEP, tandis que les organophosphorés ont été gracieusement dosés, pour le compte de l'ONEP, par le Groupement d'Intérêt Economique (GIE) d' Anjou Recherche en France.

Résultats de la première campagne d'analyse

Cette campagne a eu lieu entre janvier et août 1988. Les résultats d'analyses, objets du Tableau III, ne révèlent pas de présence des pesticides recherchés dans les eaux de retenues des barrages de Hassan Dakhil, Mansour Eddahbi et Youssef Ibn Tachfine à des doses détectables par les méthodes analytiques employées.

De faibles quantités de malathion ont été décelées au niveau des points d'eau tant superficiels (retenue Ksar Magmane, barrage de dérivation de Kadoussa) que souterrains au centre de Boudnib. La présence de malathion a été également décelée dans la région d'Ouarzazate à Skoura au niveau du puits Aït Al Amel et dans la région d'Oujda à Figuig au niveau de deux captages ; Oued Zelmoun et Saguia Ksar Ouled Abbas. Le fénitrothion a été détecté dans la région d'Ouarzazate à Skoura au niveau du puits Aït Si Hmed et dans la région d'Oujda à Figuig au niveau des deux captages précités.

Il est à noter que les valeurs de pesticides décelées restent inférieures aux valeurs guides des directives de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) pour les pesticides suivants: aldrine, dieldrine, heptachlore, et lindane. Par ailleurs, les valeurs trouvées pour le malathion et le fénitrothion sont inférieures aux valeurs maximales admissibles dans le milieu naturel préconisées par l'Académie Nationale Américaine des Sciences.

Résultats de la deuxième campagne d'analyse

Pendant cette campagne (octobre et novembre 1988), aucun des pesticides recherchés n'a été mis en évidence dans les eaux contrôlées (Tableau IV) à des doses détectables par les méthodes analytiques employées.

Conclusion

Dans les régions contrôlées il s'avère que :

- Dans les ressources en eau utilisées par l'ONEP pour la production d'eau potable, les valeurs des pesticides recherchés ne sont pas détectables par la méthode analytique employée. Leur concentration étant par conséquent nettement inférieure aux valeurs guides préconisées par l'Organisation Mondiale de la Santé.

- Dans les eaux des centres de Boudenib et Figuig, les valeurs des deux pesticides (malathion et fenitrothion) étaient perceptibles mais restent nettement inférieures aux valeurs maximales recommandées dans les eaux de boisson.

Dans l'avenir, l'ONEP continuera à organiser des campagnes de contrôle des pesticides dans les ressources en eau qu'il utilise pour la production d'eau potable dans les régions infestées.

La capacité d'analyse limitée actuellement à 15 échantillons de pesticides par semaine sera améliorée dès l'acquisition d'un deuxième chromatographe avec ses accessoires. A moyen terme, le laboratoire central de l'ONEP envisage également de se doter d'un détecteur à spectrométrie de masse de manière à faciliter l'identification des pesticides détectés par chromatographie en phase gazeuse.

Bibliographie générale

Abouzaïd H. (Sept 1973). Travail de fin d'étude à l'EMI. Introduction à l'étude des pesticides organiques de synthèse dans l'eau par chromatographie en phase gazeuse (1^{re} partie).

Sauvegrain P. (1980). Les micropolluants organiques dans les eaux superficielles continentales Rapport AFEE n°1. Les pesticides organophosphorés (1980). Rapport AFEE n°2. Les pesticides organochlorés (1981).

Water Quality Criteria. (1972). National Academy of Sciences Washington, D C.

Quality Criteria for Water. (1976). U S. Environmental Protection Agency. Office of Water Planning and Standards Washington, DC 20460.

Drinking Water And Health. National Academy of Sciences. Vol 1, Washington, D C.

Data Sheets On Pesticides. n°2, 12, 23, 29, 30; OMS/FAO, VBS/DS.

OMS. (1985). Directives de qualité pour l'eau de boisson.

19

Problèmes et perspectives de la lutte acridicide

M.L. BOUGUERRA

Faculté des Sciences, Département de Chimie, Campus Universitaire, 1060 Tunis, Tunisie

Je voudrais dire à l'intention des hommes de terrain et des autres auditeurs que j'apprécie pleinement la complexité de la lutte anti-acridienne, que, en ma qualité de chimiste, je n'ignore aucune des difficultés de la mise au point d'un pesticide chimique et les nombreuses années de labeur nécessaire à l'élaboration d'un produit nouveau. Il n'en demeure pas moins que ces produits utilisés dans le Tiers Monde créent des problèmes car ils sont souvent importés sans les garde-fous qui les entourent ailleurs. Leur impact négatif est multiforme : morts par milliers, résidus dans les aliments, atteintes globales à l'environnement et à l'écosystème, etc. (Tableaux I, II, III).

Depuis le début de cette école, j'observe que certains, à propos de la dieldrine par exemple, essaient de nous contraindre à des combats dépassés. Alors que des biopesticides modernes apparaissent, on veut revenir à la dieldrine insecticide miracle - à en croire certains - contre les criquets. Fort bien.

Mais alors pourquoi ce produit miracle, utilisé depuis des décennies pourtant, ne nous a-t-il pas encore débarrassé de ces insectes ?

Viendrait-il à l'idée d'un médecin de prescrire, aujourd'hui que les pénicillines sont sur le marché, l'utilisation des sulfanilamides antibiotiques de la première génération ? Non, bien sûr. La dieldrine a fait son temps; de plus dit Holum dans son livre classique «là où ce produit a été utilisé, il a créé plus de problèmes qu'il n'en a résolus». *Science*, la célèbre revue, parlant de la lutte anti-acridienne dans les pays de Sahel, note que les concentrations de dieldrine dans la graisse des populations de ces pays a atteint des niveaux alarmants [1]. Et puisqu'un collègue d'Arabie Saoudite a plaidé en faveur de ce produit rappelons nous : les cyclodiènes ont provoqué, en juillet 1967, 26 morts au Qatar et à Hofuf (Arabie Saoudite). Signalons enfin que la dieldrine figure sur «la liste de l'ONU des produits agrochimiques dont la consommation et/ou la vente ont été interdites, retirées ou sévèrement limitées préparée en accord avec la résolution 37/137 du 17

Tableau I. Impact probable des pesticides chimiques sur la santé publique (who/UNEP, 1988).

<i>Exposition</i>		
Unique et à court terme	20 000	morts
	300 000	intoxications
Professionnelle et sur le long terme	725 000	intoxications
Sur le long terme, faible	10 0000	intoxications
<i>Population à risque</i>		
Pays développés	25 millions	
Pays en voie de développement		
Usage intensif des pesticides	50 millions	
Usage modéré des pesticides	200 millions	

décembre 1982 de l'Assemblée générale de l'ONU». Reste bien sûr le problème de la destruction des stocks de dieldrine : la coopération internationale doit résoudre ce problème. La dernière invasion acridienne a servi de révélateur pour mettre à jour certaines pratiques sur lesquelles nous devons nous interroger.

Ainsi, ce matin, le Professeur Smirnoff du Canada me montrant une de ses publications datant de 1958 m'apprenait que lors de l'invasion de 1954, au Maroc, on a utilisé du HCH. Trente ans après, en Tunisie et probablement ailleurs, ce produit fait encore partie de l'arsenal. Or, aujourd'hui, on connaît au delà de tout doute, ses inconvénients très graves notamment sur la santé des enfants [2] (Tableau IV).

Au cours de la dernière campagne on a largement fait appel à l'avion pour l'épandage. N'oublions pas cependant les inconvénients de cette utilisation : outre la dérive fort importante qui fait qu'à peine 25% du produit atterrit sur la cible, il y a une atteinte globale fort importante sur l'écosystème : oiseaux, pollinisateurs, eau etc. L'épandage aérien pour ces raisons est interdit en Suède depuis 1969 [3] (Tableaux V, VI).

La chambre des Lords en Angleterre a examiné le 22 novembre 1984, en deuxième lecture, la nouvelle loi sur les pesticides et la question principalement débattue a été, si l'on en croit le magazine agricole *Country Life* du 6 décembre 1984, l'épandage aérien des pesticides. Au cours du débat, Lord Walston, du parti libéral, a demandé au nom de sa formation politique, l'interdiction de ces traitements par avion. Quant à la puissante organisation écologiste *Friends of the Earth* (Les Amis de la Terre), elle en réclame l'interdiction pour 1989, sauf en cas d'absolue nécessité dûment autorisée (par exemple pentes trop fortes pour permettre le passage des tracteurs d'épandage). Dans l'intervalle, cette organisation demande aux pouvoirs publics l'interdiction de cette activité aérienne sur les champs longeant des routes ou des chemins vicinaux, et voudrait que la distance minimale de passage des avions près des habitations soit de 200 mètres, alors qu'elle est fixée actuellement à 75 pieds (22,5 m). La nouvelle loi anglaise introduit de toute façon de nouvelles mesures à l'encontre des pilotes coupables de répandre les produits toxiques sur les champs d'autrui. Jusqu'ici, on leur retirait en cas de faute de ce type, leur brevet de pilotage comme de vulgaires chauffards mais les nouvelles dispositions proposées au Parlement

Tableau II. Pesticides pouvant être hépatotoxiques par ingestion

	Fumigants	Fongicides	Herbicides	Insecticides	Raticides
Aminotriazole	-	-	+	-	-
Arsenic	-	+	-	+	+
Sels de Barium	-	-	-	-	+
Sels du Copper	-	+	-	+	-
Dinitrophenols	-	-	+	-	-
Composés halogénés					
Bromoaliphatique	+	+	-	-	-
Chloroaliphatique	+	-	-	+	-
Chloroaromatique					
Aldrine	-	-	-	+	-
BHC	-	-	-	+	-
Chlordane	-	-	-	+	-
Chlordecone	-	-	-	+	-
2,4-D, 2,4,5-T	-	-	+	-	-
DDT	-	-	-	+	-
Dichlorobenzène	+	-	-	+	-
Dieldrine	-	-	-	+	-
Dioxines*	-	-	+	-	-
Endrine	-	-	-	+	-
Heptachlor	-	-	-	+	-
Methoxychlor	-	-	-	+	-
Pentachlorophénol	-	+	-	-	-
Toxaphène	-	-	-	+	-
Iodoaliphatique	+	-	-	-	-
Hydrazide Maléïque	-	-	+	+	+
Paraquat	-	-	+	-	-
Phosphores	-	-	-	-	+
Phthallates	+	-	-	-	-
Thallium	-	-	-	-	+
Warfarin	-	-	-	-	+

* Présent à l'état de contaminants des acides phénoxy acétiques.

introduisent de lourdes amendes et fixent des dommages et intérêts en cas d'épandage intempestif.

Il ne semble pas que de telles protections juridiques existent dans nos pays en faveur des citoyens lésés par les épandages aériens, ou que des textes régissent cette activité

A noter qu'en Angleterre, les organisations agricoles, si elle ne sont pas d'accord pour le moment avec l'interdiction, sont favorables en revanche à des mesures de sécurité plus énergiques, et une meilleure protection des citoyens en général et des ouvriers agricoles - particulièrement exposés - en particulier. Le prince Charles en personne s'est aussi prononcé en ce sens et contre l'utilisation trop grande des produits agro-chimiques dans son pays. L'épandage par avion des pesticides nécessite un personnel très qualifié, mais ceci n'empêche pas les accidents; le grand entomologiste américain D. Pimentel, rapporte

Tableau III. Effets des pesticides sur l'être humain.

Exposition \ Effet	Immédiat		Retardé
	Temporaire	court terme	long terme
<i>Haute dose</i>			
Une exposition aigüe	Mort	Epilepsie	
Expositions répétées	Variation EEG	Séquelles psychiatriques	Parkinsonisme indirect
	Altérations neurologiques		
	Cholestérol sanguin élevé		
	Vitamine A sanguine élevée		
	Hypertension	Maladies CV	
	Fertilité réduite		
	stérilité		
	Dyscrasie sanguine		
	Allergie	Affections hépatiques	
<i>Faible dose</i>			
Expositions répétées			Tératogénèse Mutation Cancer

qu'en 1976, il y a eu, aux USA, 174 accidents d'avion certains ayant entraîné morts d'hommes... sans compter les dégâts causés par le produit (et son solvant) qui en cas d'accidents devient bien sûr incontrôlable et souille tout : les pesticides altèrent, par leur action sur le système nerveux et le cerveau, le temps de réponse des pilotes et augmentent, de cette façon, les possibilités d'accident par les avions d'épandage. La revue «Aviation, Space and environment medicine» du mois d'octobre 1981, a donné le détail des accidents causés par les épandages aériens. Il ne faut pas qu'à la faveur de la lutte anti-acridienne, l'épandage aérien devienne la règle. Il faut nous interroger sur nos pratiques et noter avec Patrick Lagadec «Aucun développement technologique ne saurait échapper à l'examen critique ni au débat. Le risque majeur exige de tout passer au crible, de tout légitimer politiquement. Cela, bien entendu, en toutes connaissances des coûts sociaux et des avantages liés aux formes de développement analysées» [4].

Il faut nous interroger sur nos pratiques, notre stratégie. Dans *Science*, un spécialiste américain Shannon Wilson témoigne à propos de la dernière invasion «Sur le terrain nous opérons avec une technologie qui a vingt ans d'âge si on fait abstraction de la télédétection et de meilleurs systèmes de guidage» [4].

Problèmes et perspectives de la lutte acridicide

Tableau IV. Traitement à l'HCH en Tunisie (Superficies et zones traitées).

Gouvernorat	Zone traitée	Superficie traitée en ha
Gabès	Mareth	250
Gafsa	Essouai	400
	Entre Sidi Boubakher et Le Kef Eddarbi	1 500
Sfax	Naouel	705
	Henchir Ramed Bouthadi	
Sidi Bouzid	El Mazzouna	300
	Ouled Slim El Mknassy	
	Ouled Abid. Ben Aoun	
Kasserine	Feriana	250
	Mejel Belabès	820
	Hidra	10
		Une partie seulement de ces superficies a été traitée à l'HCH; le reste avec phosphamidon et Fénitrothion.
Kairouan	Chbika	800
	Sidi Amor Bouhajla	Une partie seulement de cette superficie a été traitée à l'HCH, le reste avec deltaméthrine.
	Oueslatia	
	Jebel Essers	
Tatahouine	Kammour	200
	Remada	200
	El Achouch (Nord Est de Remada)	200
	Triguette	1 400
Médenine	Fej Errejel	150
	Oum Hassen	
	Jorf	
	Gasaât echich	150
	Bouhrara	
	Beni Ghzayel	5
Zone Grar (Route de Gabès)	10	
Total		7 350 soit 147 000 à 183 750 kg

Dose d'application recommandée 2 à 25 kg par hectare.

Tableau V. Demi-vie de quelques insecticides organochlorés dans le sol (Menzie, 1972).

Insecticide	Demi-vie approximative (en année)
DDT	3-10
Heptachlor	7-12
Endrine	4-8
Toxaphène	10
Aldrine	1-4
Dieldrine	1-7
Chlordane	2-4
BHC	2

Tableau VI. Persistance de certains insecticides organochlorés dans le sol (Edwards, 1966).

Insecticide	Dosage moyenne de matière active (en livre/ha)	Temps requis pour la disparition de 95% du produit (en années)
DDT	1-62,5	4-30
Heptachlor	1-7,5	3-5
Aldrine	1-7,5	1-6
Dieldrine	1-7,5	5-25
Lindane	1-6,25	3-10

Pour la lutte contre le criquet, on a utilisé dans beaucoup de pays affectés le dichlorvos.

Ce produit a-t-on récemment appris provoque la cataracte chez le saumon [6]. Peter Fraser de l'Université d'Aberdeen a trouvé qu'en 1985 un peu moins de 20% des salmons pêchés avaient la cataracte aux deux yeux. En 1988, cette proportion est passée à 60% et est parallèle aux quantités de dichlorvos (Nuvan 500 EC) utilisées. On savait qu'avalé, le produit provoquait cette affection oculaire, il semblerait que maintenant son action peut se manifester aussi par contact. On a pu ainsi obtenir des cataractes expérimentales chez l'animal et préciser le mécanisme de l'action du produit sur la concentration des ions calcium.

Des études ont été entreprises sur l'oeil de mammifère pour évaluer des dégâts que pourraient causer le Nuvan 500 EC.

Il faut donc être vigilant lors de l'utilisation de ce type de produit et nous maintenir informés de l'évolution des connaissances au sujet de ces produits.

Peut-être, pour les recommandations prévues pour cet après-midi, pouvons nous proposer la création d'une banque de données et d'un suivi vigilant de la littérature sur les produits utilisés dans la lutte anti-acridienne. Cette banque de données pourrait alors être consultée par les utilisateurs, les associations, etc.

En fait, l'utilisation des pesticides dans le Tiers Monde s'inscrit dans le cadre de ce que j'appellerais «*le péril chimique*» qui plane actuellement sur nos populations et dans lequel

j'inscris le problème des médicaments [7] frelatés non adaptés ou interdits ailleurs et celui des déchets toxiques [8].

Ce péril chimique n'est pas une vue de l'esprit puisque, d'après l'OMS, les pesticides tuent 220 000 personnes annuellement. En outre, le Tiers Monde a déploré de nombreux drames tel celui du HCB en Turquie en 1956 qui aurait fait plus de 3000 victimes, et dont les séquelles étaient encore étudiées en 1986 [9] (Tableau I).

Coûts sociaux et subventions

Une étude publiée par le World Resources Institute [10] montre que les pays du Tiers Monde ne font pas payer à l'agriculteur le prix réel des produits agrochimiques dans la mesure où l'Etat subventionne, dans des proportions importantes ces produits : au Sénégal, l'Etat paye 89% de ce prix, en Egypte 83% et au Ghana 67%. Il en résulte que l'agriculteur va avoir tendance à utiliser à outrance les pesticides étant donné qu'il n'en paye pas le juste prix. Conséquences : pollution du milieu, résidus sur les spéculations agricoles, fruits, légumes et accélération de la résistance des nuisibles (Tableaux VII, VIII, IX).

Tableau VII. Subventions consenties aux pesticides au Ghana 1983-1984.

	Non subventionné (millions de cedis)	Subventionné
I. Formulations locales		
1. Valeur des produits importés, cif ^a	330	165
2. Droits de douane acquittés ^b	429	214,5
3. Ventes, droits payés ^c	515	214,5
4. Coûts ex. usine ^d	530	230
II. Fournitures locales, total		
5. Formulation locale ex. usine	530	230
6. Pesticides importés CIF	330	165
7. Droits de douane acquittés	429	214,5
8. Ventes, taxes acquittées	515	214,5
9. Coûts du crédit payé par les importateurs	543	219
10. Fournitures locales : total (4 + 9)	1073	449
11. Prix au détail	1502	721
12. Subventions directes	—	216
13. Prix pour l'agriculture	1502	505

a) Taux de change officiel 50 Cedis = 1 dollar US; Taux de change effectif moyen 100 Cedis : 1 dollar US.

b) Toutes les importations acquittent un droit de 30%.

c) La marge des formulateurs 17 - 20 Cedis/litre pour lindane et propoxur.

d) Marge compétitive estimée à 40%, les importations de pesticide distribuées par le privé permettent une marge de 82% sous le régime du contrôle des prix.

Tableau VIII. Subventions accordées aux pesticides en Egypte en 1982.

	Non subventionné (en milliers de LE)	Subventionné
I. Formulation locale		
1. Intermédiaire importés, CIF ^a	11345	8660
2. Droits de douane payés	13274	8660
3. Coûts ex - usine ^b	20442	13336
II. Fournitures locales, total :		
4. Produits locaux, coût ex. usine	20442	13336
5. Importations produits finis, CIF ^a	78929	60251
6. Importations, droits payés	92347	60251
7. Total des fournitures locales (4 + 6)	112789	73587
8. Prix au détail avant taxe ^c	146625	95663
9. Ventes taxes acquitées	153957	95663
10. Prix détail, intérêts compris	175510	103316
11. Subventions directes	—	72709
12. Coûts pour l'agriculteur	175510	30607

a) Le taux de change sur les importations de pesticide était LE : 0,7 dollar US taux de change effectif en 1982
LE : 0,92 dollar US.

b) La marge des formulateurs est 54% en moyenne sur le coût à l'importation.

c) Pesticides et autres importations agricoles exemptes de 20% sur les taxes de vente.

A l'heure actuelle, de par le monde, plus de 400 nuisibles sont devenus résistants à la plupart des pesticides dont l'anophèle vecteur du paludisme.

L'utilisation des pesticides pour améliorer les rendements agricoles est illusoire comme le montre l'étude de Herdt, Castillo et Jayasuriya en 1983 [10] où l'exemple classique de la culture du coton dans la vallée de la Canête au Pérou (fig. 1).

Aux USA même, l'examen de l'utilisation des insecticides sur le coton et le maïs montre l'importance du phénomène de la résistance et la chute vertigineuse au cours du temps du rapport produit agricole sur livre d'insecticide (fig. 2). L'exemple de la pomme, aux USA, ne fait pas exception à la règle et si le rapport est, dans ce cas, meilleur, cela est uniquement dû au fait que, notamment dans le cas de l'Etat de New York, l'introduction de la lutte biologique a été faite très tôt, juste après la guerre (figs. 3, 4).

Il faut ici comprendre que les pesticides ne sont pas à exclure. Ce qui est fondamental est ceci : les pesticides ne doivent pas être l'unique et seul moyen de lutte contre les nuisibles, ils doivent être un élément dans une stratégie et non constituer seuls l'unique stratégie comme cela est souvent le cas dans le Tiers Monde et comme vise à le faire admettre une publicité intéressée. De plus, dans le Tiers Monde, il nous faut, comme l'a fait Pimentel pour les USA, tenir compte des coûts environnementaux et sociaux de l'usage des pesticides. Quand de tels coûts sont évalués, l'intérêt des pesticides est ramené à des proportions bien plus modestes et s'effondrent alors de nombreux mythes (Tableau X).

Il nous faut dans le Tiers Monde faire l'économie des erreurs commises ailleurs.

Problèmes et perspectives de la lutte acridicide

Tableau IX. Bilan de deux expériences aux Philippines (1976-81) relativement à deux niveaux d'application d'insecticide (en pesos/ha).

Localisation/ Traitement	Saison des pluies			Saison sèche		
	Dépenses	Recettes	Bénéfices	Dépenses	Recettes	Bénéfices
I. Variétés résistantes aux nuisibles						
Village 1						
Pas d'application à application modérée *	565	418	-147	555	356	-199
Applications modérées à forte**	1000	791	-209	740	884	144
Village 2						
Pas d'application à application modérée	1419	1302	-117	1165	-1705	-2870
Applications modérées à forte	942	775	-167	589	-1240	-1829
Village 3						
Pas d'application à application modérée	1504	697	-807	1202	279	-923
Applications modérées à forte	320	124	-196	861	698	-163
Village 4						
Pas d'application à application modérée	551	1005	454	609	755	146
Applications modérées à forte	1038	68	812	519	1236	717
Village 5						
Pas d'application à application modérée	737	334	-403	494	678	184
Applications modérées à forte	1038	-21	-1059	705	145	-560
II. Variétés non résistantes						
Village 1						
Pas d'application à application modérée	527	1070	543	555	914	359
Applications modérées à forte	816	1441	625	740	1643	903
Village 6						
Pas d'application à application modérée	1732	822	-910	821	202	-619
Applications modérées à forte	331	46	-285	365	496	131

* Comparaison entre l'absence de traitement et le traitement modéré.

** Comparaison entre le traitement modéré et le traitement intensif.

Source : Herdt, Castillo, and Jayasuriya, 1983.

Production de coton dans la vallée de la Canete au Pérou

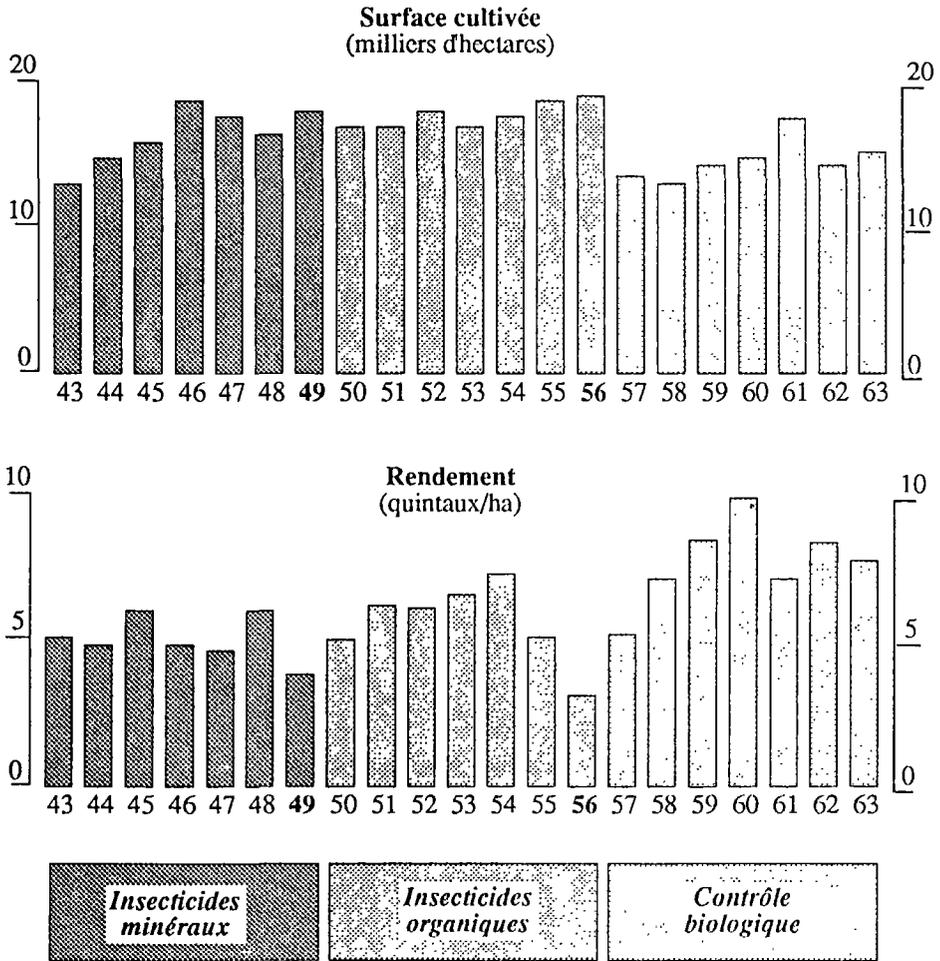


Figure 1. L'utilisation du contrôle biologique a permis de rétablir les équilibres naturels dans la vallée de la Canete. On notera le rendement particulièrement désastreux de 1956 en dépit de l'emploi massif de produits agrottoxiques. La raison en est principalement la résistance acquise par les prédateurs (M.L. Bouguerra. "Les poisons du Tiers Monde". Edit. *La Découverte*, Paris 1985).

Ainsi l'*International Herald Tribune* parlant de la campagne que mène l'agronome soudanais Arif Jamal contre l'usage à tout va dans le Tiers Monde des pesticides les plus toxiques (comme le parathion et le paraquat) ou interdits dans le pays qui les fabrique, note que les USA exportent annuellement 500 millions de livres de pesticides interdits ou non autorisés sur le territoire américain. Dans le *New Scientist* du 14 juillet 1988, Peter

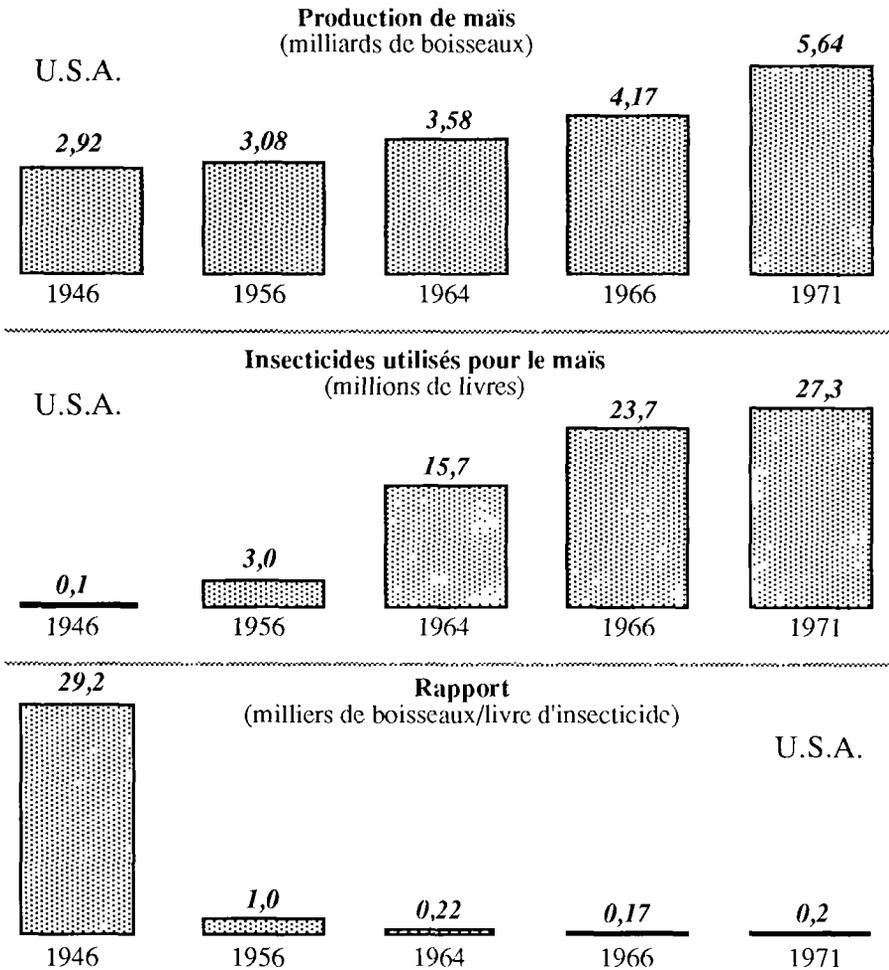


Figure 2. En un quart de siècle, la production de maïs a presque doublé mais les quantités d'insecticides utilisées sur cette culture ont été multipliées par 270 !

En 1946, 29200 boisseaux nécessitaient une livre de produit, 25 ans plus tard, 200 boisseaux exigent la même quantité d'insecticides !

Northall écrivait : «*Il a fallu une révolution pour que le Nicaragua rompe le cercle vicieux des pesticides*» (Tableau XI).

Il importe de signaler ici que l'Académie américaine des sciences dans un rapport dont rend compte *l'International Herald Tribune* du 9 et 10 septembre 1989 a trouvé que les fermiers qui n'utilisent pas de produits chimiques sont aussi productifs que ceux qui utilisent les pesticides.

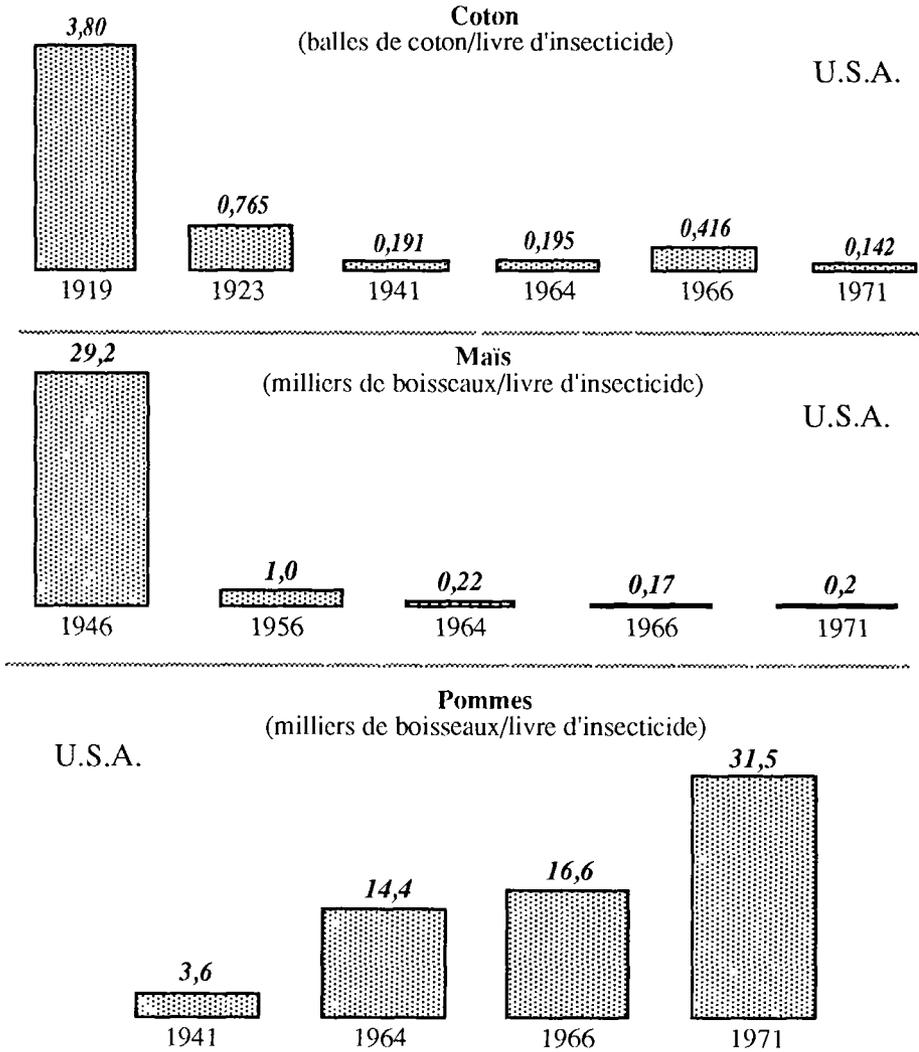


Figure 3. Sur le coton et le maïs, les quantités d'insecticides synthétiques utilisées sont de plus en plus importantes. Pour les pommes, le passage à la lutte biologique et aux méthodes alternatives a permis de maintenir de bons rendements.

Le Département américain de l'Agriculture a adopté les principales dispositions de ce rapport et appelle maintenant à une diminution de l'utilisation de ces produits dans les fermes américaines ; ce qui est une extraordinaire nouveauté et un changement radical dans la politique agricole outre-Atlantique; la pollution des eaux est en effet fort inquiétante aux USA du fait du passage des produits agrochimiques dans la nappe phréatique et

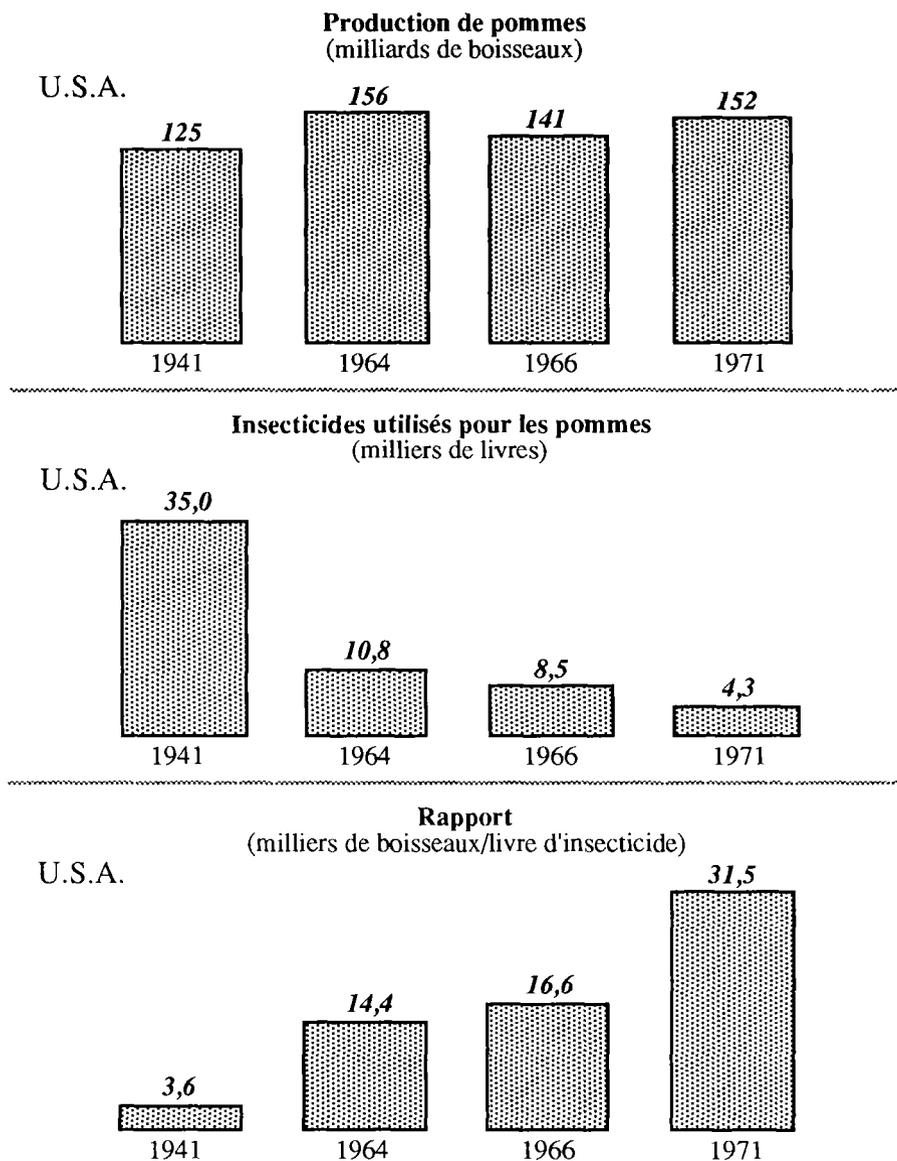


Figure 4. Les bons rendements ne vont pas de pair nécessairement avec les quantités d'insecticides utilisées. Pour les pommes aux Etats-Unis ; le passage à la lutte biologique et aux méthodes alternatives a permis de libérer cette spéculation agricole du carcan chimique.

les eaux des puits. Pour ne rien dire de l'action des groupes de citoyens et d'associations. Le Congrès américain a adopté quant à lui les conclusions du rapport de la NAS et a déci-

Tableau X. Estimation des coûts sociaux et environnementaux des pesticides aux Etats-Unis (en millions de dollars)

Empoisonnements d'êtres humains ^a	180
Empoisonnements d'animaux et viande contaminée non comestible ^b	12
Réduction des ennemis naturels et résistance aux pesticides.....	287
Pollinisation insuffisante et perte d'abeilles.....	135
Pertes de récoltes et d'arbres.....	70
Pertes en poisson et gibier.....	11
Contrôle gouvernemental de la pollution par les pesticides.....	140
Total.....	839

Source: D. Pimentel, *Pesticides : Environmental and Social Costs*, AAAS Select Symp. 43, 1979, p. 136.

a. Pimentel estime à 125 millions de dollars l'incidence des cancers dus à l'utilisation des pesticides, soit 68% des sommes allouées à cette ligne. Il inclut 52 millions de dollars pour les 52 décès provoqués par les pesticides, le reste allant aux frais médicaux.

b. Alors que dans le Tiers Monde, il n'est pas toujours possible, on l'a vu, d'avoir le nombre d'empoisonnements provoqués par les pesticides sur les êtres humains, Pimentel a été en mesure d'estimer à 8,5 millions de dollars par an les pertes infligées par les pesticides au bétail, aux chevaux, aux chiens, aux chats, aux porcs et aux poulets.

dé d'étudier l'an prochain la possibilité du changement de la politique agricole américaine.

De son côté, en 1988, le Département de l'Agriculture a ouvert une consultation à l'intention des fermiers à Memphis pour les renseigner sur l'agriculture biologique et les amener à utiliser moins d'engrais et de pesticides chimiques de synthèse [11].

Le problèmes des résidus

Les résidus de pesticides posent un réel et sérieux problème.

Les travaux de notre laboratoire ont permis d'en détecter dans le sang, le lait maternel (figs. 5,6), le sang de cordon (fig. 7) et divers marqueurs biologiques tels les oeufs de faucon (fig. 8) (*F. peregrinus* et *F. hiarmicus*) et les moules (fig. 10). Nous avons essentiellement étudié les résidus de pesticides organochlorés et de PCB (fig. 9).

L'Académie américaine de pédiatrie déclarait récemment :

«De tous les risques chimiques auxquels le public fait face – air, eau ou aliments pollués – les pesticides dans les aliments constituent la menace la plus sérieuse» [12].

Utiliser les pesticides persistants dans la lutte anti-acridienne ne saurait se faire que si nous engageons dans le Tiers Monde un monitoring sévère des eaux, des aliments et de la population. De toute façon, l'utilisation de ces pesticides rémanents devrait être, dans tous les cas, interdites car les solutions de rechange existent comme nous le montrerons plus loin.

Dans les pays industrialisés existent à l'heure actuelle des normes sévères pour limiter ces produits dans les aliments et dans l'environnement. Le danger de ces résidus a été à maintes fois souligné ces derniers temps [13] (Tableaux XII, XIII). Les enfants semblent particulièrement exposés comme le prouve cet article de Science entre autres. La Communauté Européenne a édicté des normes quant aux résidus de pesticides dans les aliments [14].

Tableau XI. Liste* des produits agrochimiques dont la consommation et/ou la vente ont été interdites, retirées ou sévèrement limitées (préparé en accord avec la résolution 37/137 du 17 décembre 1982 de l'ONU), (Source : ML Bouguerra "Les poisons du Tiers Monde", *La Découverte*, Paris, 1985).

1. <i>Acaricides :</i>	Chlorobenzilate	
	Endosulfan	
<i>Acaricides et fongicides :</i>		
	Binapacryl	Oxythioquinox
<i>Acaricides et insecticides :</i>		
	Azinphos méthyl	Carbophénothion
	Endosulfan	Fenpropathrin
	Mephosfolan	Methidathion
	Schradan	Sulfotep
2. <i>Avicides :</i>		
<i>Avicide et insecticide :</i>	Endrin	
3. <i>Bactéricides :</i>	Disulfure de carbone	
<i>Bactéricides et fongicides :</i>		
	Bénomyl	
	Maneb	
4. <i>Fongicides :</i>	Captafol	Captan
	Oxyde d'éthylène	Ethylformate
	Hydroxyde de fentine	Foltep [N-(trichlorométhyl) thiophthalimide]
	HCH (mélange d'isomères)	Hexachloroenzène
	Acétate phénylmercurique	Méthyl de thiophanate
5. <i>Herbicides :</i>	Amitrole	Dinoseb
	Endothal sodium	Morfamquat
	Nitrofen	Paraquat
	Pentachlorophénol (PCP)	(dichlorure)
	Arsénite de sodium	Silvex
	Tébuturon	Cyanure de sodium
	2,4-D	Trifluraline
		2,4,5-T
	<i>Herbicide et régulateur de croissance des plantes :</i>	
	Silvex	
6. <i>Insecticides :</i>	Aldrine	Aminocarb
	Anabasine	Aramite
	Insecticides contenant de l'arsenic	
	Camphéchlor	Camphénochlorures
	Tétrachlorure de carbone	Carbosulfan
		Chlordécone
	Chlordane	Chloropicrin
	Chlordiméform	Acétoarsénite de cuivre
	Chlorthiophos	
	Cycloheximide	DDT
	Déméton (O et S)	Dialifos
	Dicrotophos	Dieldrine
	Diméthoate	Disulfoton
	EPN	Dibromure d'éthylène
	Fonofos	Gamma HCH

Tableau XI. (suite)

	Isobenzan	Isodrin
	Kadéthrin	Kelevan
	Composés du plomb	Leptophos
	Melipax	Méthomyl
	Méthoxychlor	Bromure de méthyle
	Mévinphos	Mirex
	Sulfate de nicotine	Ométhoate
	Oxyfluorfen	Phorate
	Phosphine produisant de l'acide cyanhydrique	Prothoate
	Naphtalènes polychlorés	Strobane
	Fluorure de sodium	Tétraéthylpyrophosphate (TEPP)
	Sulprofos	
<i>Insecticides et bactéricides :</i>		
	Matériaux produisant de l'acide cyanhydrique	
	Heptachlor	
<i>Insecticides et fongicides :</i>		
	composés mercuriques (voir aussi acétate phénylmercurique)	
<i>Insecticides et raticides :</i>		
	Alpha HCH	Endrin
	Béta HCH	Gamma HCH
	Delta HCH	HCH (mélange d'isomères)
7. <i>Nématicides :</i>	Mocap	Dibromo-1,2 chloro-3 propane
8. <i>Régulateur de la croissance des plantes :</i>		
	Hydrazide maléique	
9. <i>Raticides :</i>		
	Alphanaphtylthiourée (ANTU)	Fluoroacétamide de sodium
	Gophacide	Strychnine
	Fluoroacétate de sodium	
	Thallium	
10. <i>Substance à ingérer par le bétail et les animaux de basse-cour :</i>		
	Diéthylstilbestrol	
11. <i>Pesticides à usages multiples (plus de deux utilisations) :</i>		
	Aldicarb	Parathion
	Parathion méthyl	

* Liste arrêtée en juillet 1984 et traduite de l'anglais par nos soins. On peut se procurer une copie de la liste, avec noms scientifiques génériques et dénominations commerciales, en s'adressant à Mrs J. Jopling, PPCO/DIESA, United Nations, New York, N.Y. 10017.

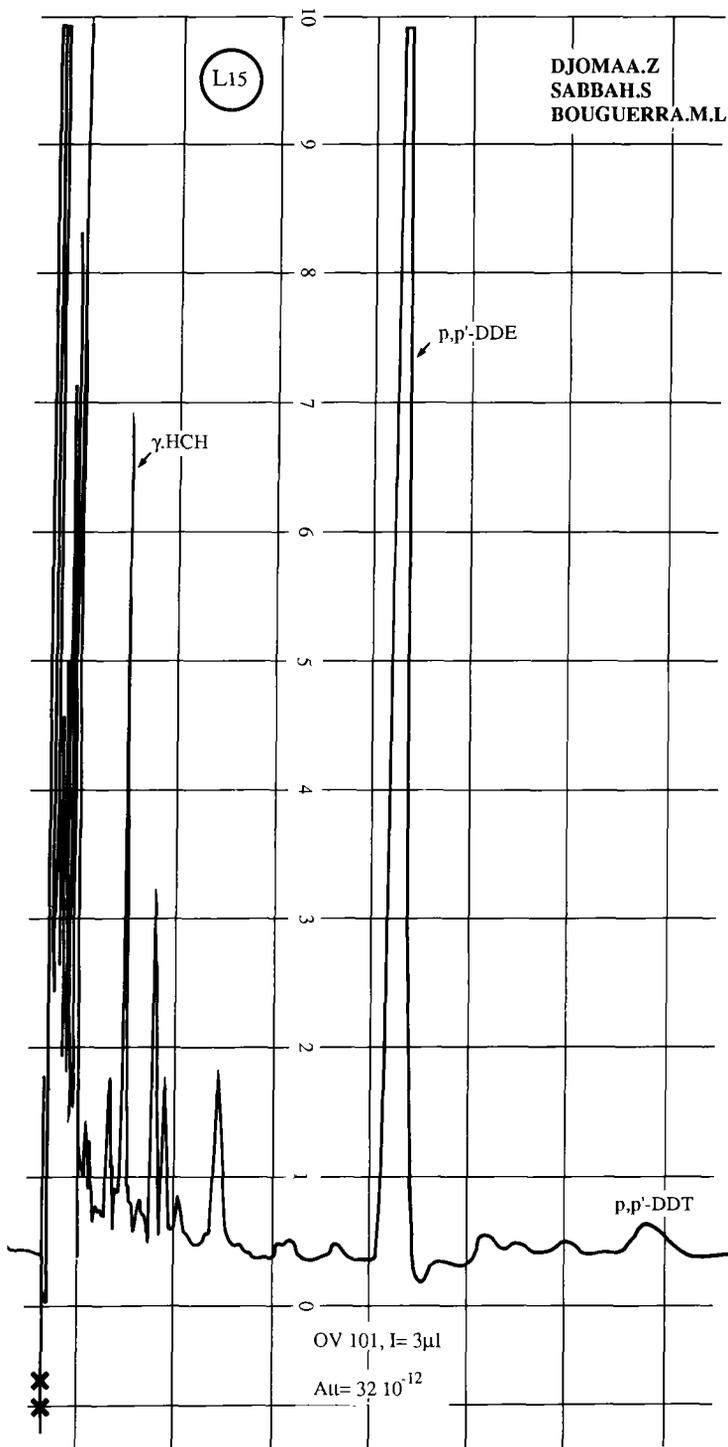


Figure 5. Echantillon de lait maternel. Chromatogramme des résidus de pesticides (M.L. Bouguerra et al).

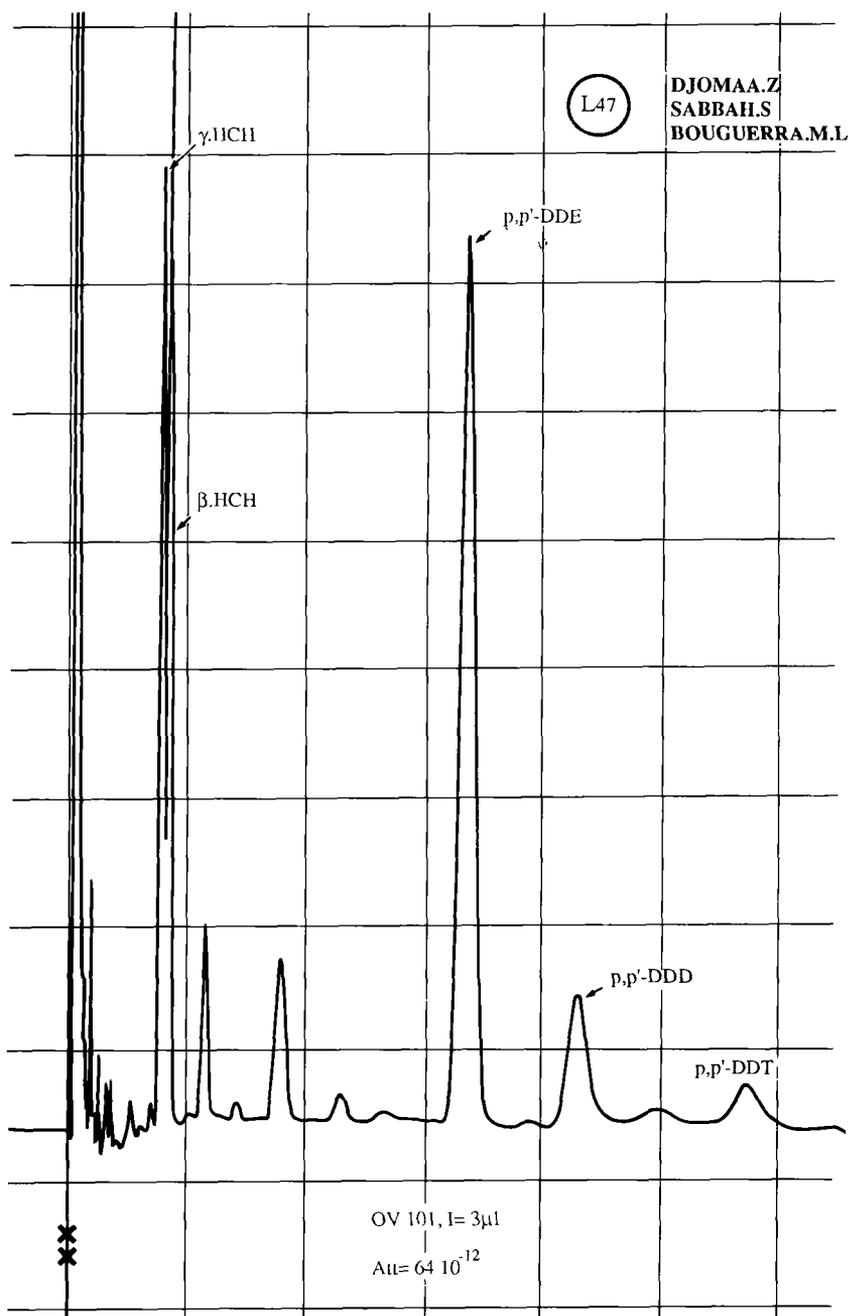


Figure 6. Echantillon de lait maternel. Chromatogramme des r sids de pesticides (M.L. Bouguerra et al).

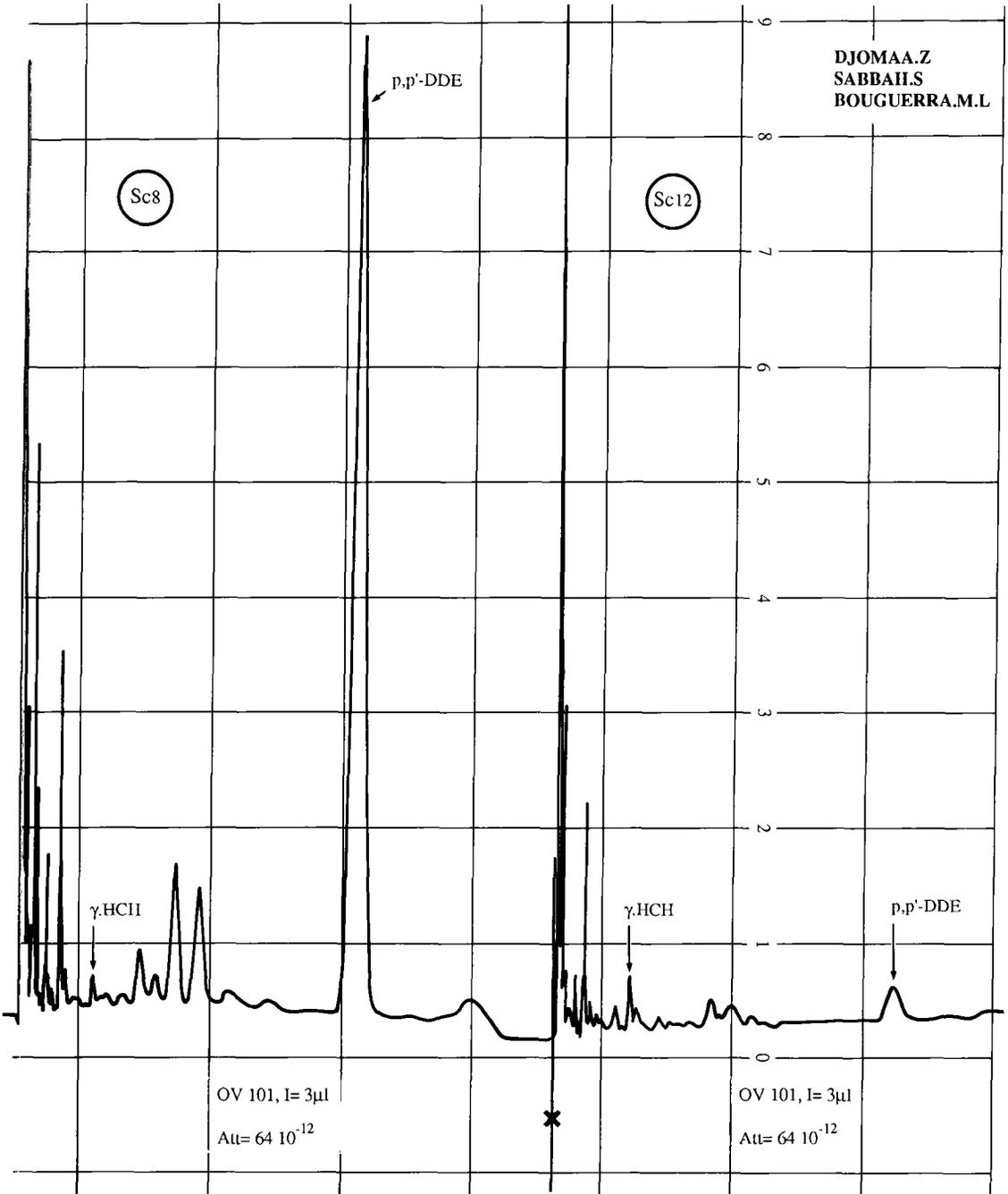


Figure 7. Echantillon de sang de cordon. Chromatogramme des résidus de pesticides (M.L. Bouguerra *et al.*).

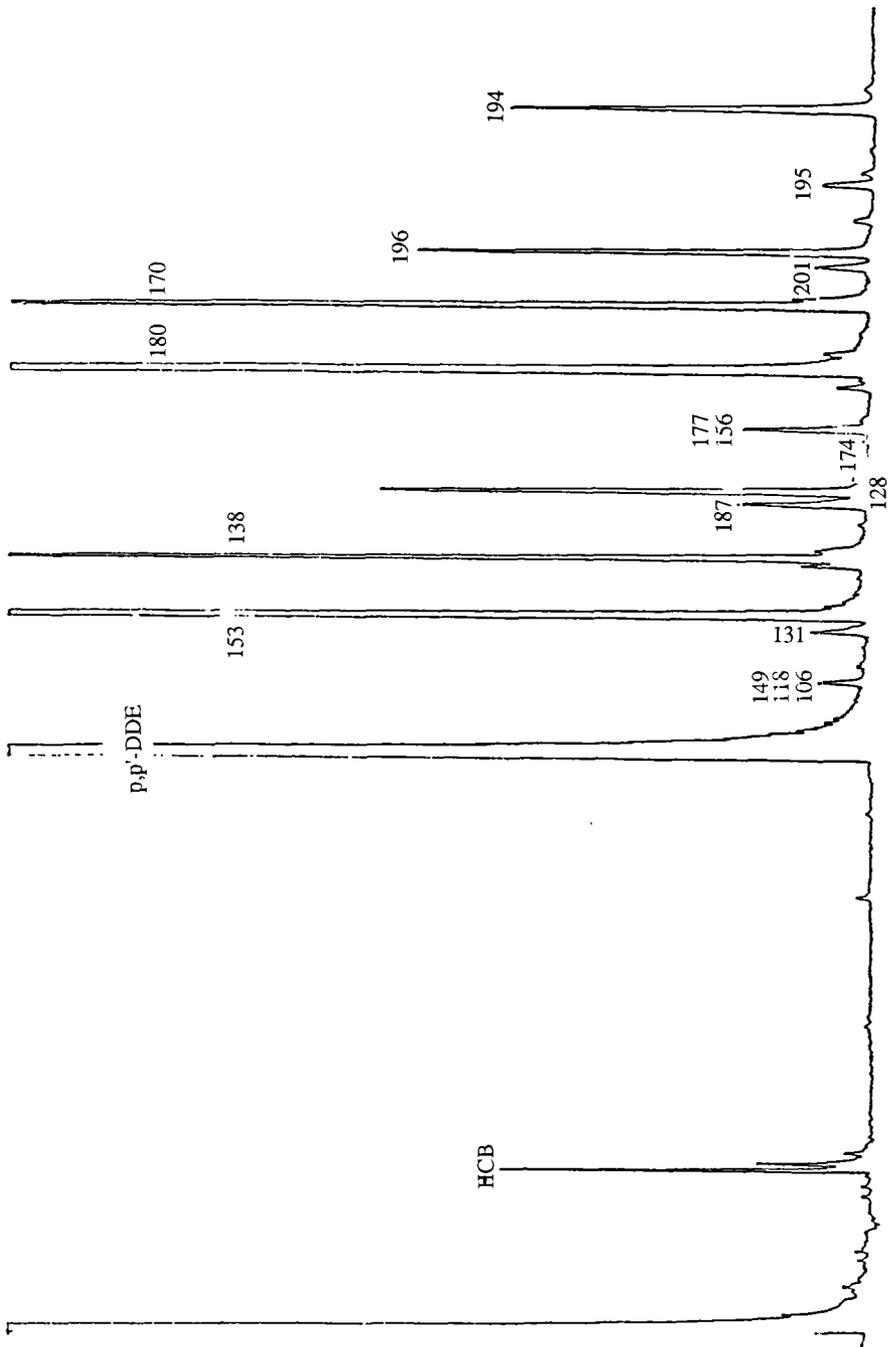


Figure 8. Extrait d'œuf de faucon. Chromatogramme des résidus de pesticides organochlorés et de PCB (M.L. Bouguerra *et al.*).

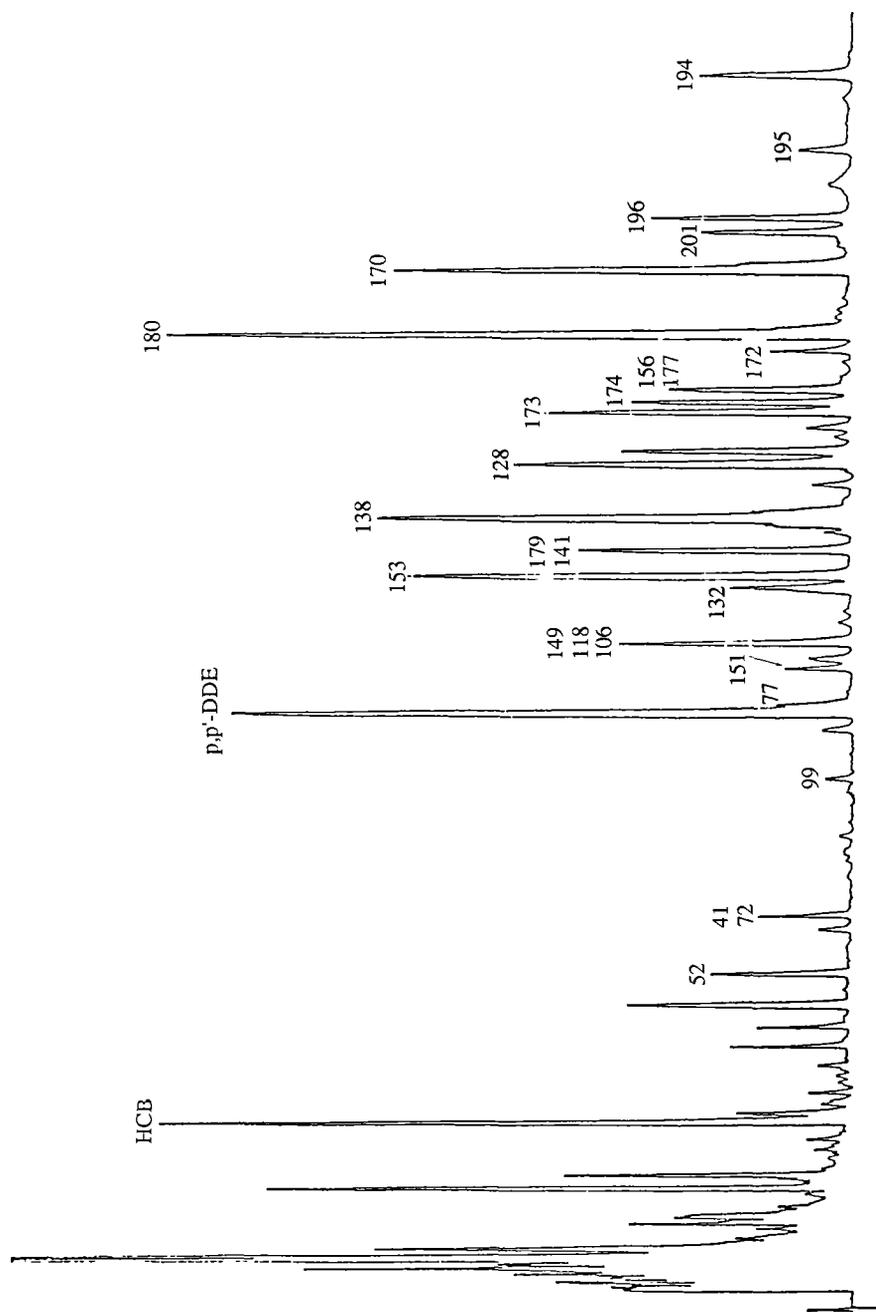


Figure 9. Extrait de lait maternel. Chromatogramme des résidus de pesticides organochlorés et de PCB (M.L. Bouguerra *et al.*).

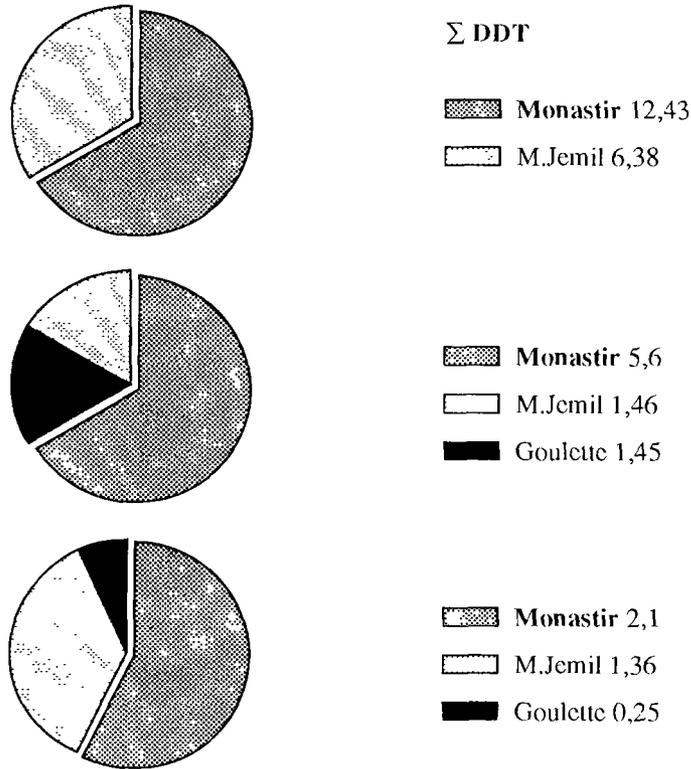


Figure 10. Moyenne des taux de résidus d'organochlorés détectés en ppb dans les moules en Tunisie.

Dans la mesure où dans certains pays affectés par les criquets, on a utilisé d'importantes quantités de pesticides dont certains rémanents comme le HCH, il serait indiqué de faire un suivi de ces résidus dans l'environnement (figs. 11, 12) (eau, végétation...) dans les aliments et dans certains fluides biologiques (sang, lait maternel...) pour évaluer l'exposition de la population.

Nos recommandations pourraient faire ressortir peut être l'urgence qu'il y a, à établir dans notre région, des laboratoires de référence dans ce but. D'ores et déjà, notre laboratoire à Tunis est en mesure de rechercher les résidus de pesticides au moyen de la chromatographie en phase gazeuse capillaire (haute résolution) [15].

Certains ont eu tendance à minimiser-à tort-ce problème au cours de notre Ecole. Rappelons leur d'abord l'acuité de la question des résidus d'atrazine dans les eaux, dans la Communauté Européenne. Des citoyens britanniques ont intenté un procès au gouvernement anglais pour non-respect de ces normes dans l'eau de boisson et s'en prennent aux grandes surfaces coupables à leurs yeux de commercialiser des aliments dont la teneur en pesticides dépasse les normes européennes [16, 17, 18]

Tableau XII. Teneurs maximales des résidus de pesticides sur et dans les céréales destinées à l'alimentation humaine.

Résidus de pesticides	Teneurs maximales en mg/kg (ppm)
1 Acide cyanhydrique, cyanures exprimés en acide cyanhydrique	50
2 Aldrine isolément ou ensemble,(HEOD) exprimés en dieldrine (HEOD)	0,02
3 Dieldrine (HEOD)	
4 Bromures inorganiques totaux, exprimés en ions Br ⁻	50
5 Butoxyde de pipéronyle	20
6 Carbaryl	1 : riz 0,5 : autres céréales
7 Chlordane (somme des isomères cis et trans et de l'oxychlordane exprimés en chlordane)	0,05
8 DDT (somme des isomères du DDT, du TDE et du DDE exprimés en DDT)	0,05
9 Diazinon	0,1
10 Dichlorvos	2
11 Endosulfan (somme des isomères alpha et bêta et du sulfate d'endosulfan exprimés en endosulfan)	0,2 : maïs 0,1 : autres céréales
12 Endrine (somme de l'endrine et de la delta-cetro-endrine exprimées en endrine)	0,02
13 Heptachlore (somme de l'heptachlore et de l'heptachloreepoxyde exprimée en heptachlore)	0,02
14 Hexachlorobenzène (HCB)	0,01
15 Hexachlorocyclohexane (HCH)	
15.1 Isomère alpha	0,01
15.2 Isomère bêta	0,02
15.3 Isomère gamma (lindane)	0,5
16 Hydrogène phosphoré, phosphures exprimés en hydrogène phosphore	0,01
17 Malathion (somme du malathion et du malaaxon exprimés en malathion)	8
18 Methoxychlore	2
19 Phosphamidon	0,1
20 Pyréthrines (somme des pyréthrines I et II, cinérines I et II, jasmolines I et II)	3
21 Trichlorfon	0,1

Résidus de pesticides pour lesquels des teneurs plus élevées, dans les céréales, peuvent être autorisées dans certaines conditions (voir texte)

Résidus de pesticides	Teneurs maximales en mg/kg (ppm)
1 Bromométhane (bromure de méthyle)	0,5
2 1,2-Dibrométhane (dibromure d'éthylène)	0,01
3 1,2-Dichloréthane (dichlorure d'éthylène)	1
4 Sulphure de carbone	0,1
5 Tétrachlorure de carbone	0,1

Tableau XIII. Teneurs maximales des résidus de pesticides sur et dans les denrées alimentaires d'origine animale

Résidus de pesticides		Teneurs maximales		
		en mg/kg (ppm) de matière grasse pour les viandes, abats comestibles et préparations de viandes	en mg/kg (ppm) de matière grasse pour le lait et les produits de laiterie	en mg/kg (ppm) d'œufs frais
1 Aldrine :	isolément ou ensemble,			
2 Dieldrine : (HEOD)	exprimés en dieldrine (HEOD)	0,2	0,15	0,1
3 Chlordane (somme des isomères cis et trans et de l'oxychlordane exprimés en chlordane)		0,005	0,15	0,1
4 DDT (somme des isomères du DDT, du TDE et du DDE exprimés en DDT)		1	1	0,5
5 Endrine (somme de l'endrine et de la delta-ceto-endrine exprimées en endrine)		0,02	0,02	0,02
6 Heptachlore (somme de l'heptachlore et de l'heptachlore-epoxyde exprimés en heptachlore)	0,02	0,15	0,05	
7 Hexachlorobenzène (HCB)		0,1	0,1	0,1
8 Hexachlorocyclohexane (HCB)				
8.1 Isomère alpha	0,5	0,02	0,1	
8.2 Isomère bêta	0,1	0,02	0,02	
8.3 Isomère gamma (lindane)		0,7		

Ensuite, attirons leur attention sur le travail bien connu de Radomski qui a montré que des concentrations importantes en résidus de pesticides se retrouvaient dans le cas de ramollissement cérébral, d'hypertension portale du foie, de tumeurs du cerveau, d'encéphalite granulomateuse, de nécrose ischémique et tout particulièrement dans le cas d'hémorragie cérébrale [19] (Tableau III).

De plus, un rapport de l'OMS a montré que le lait maternel est particulièrement affecté par les résidus de pesticides dans les pays du Tiers Monde, raison supplémentaire pour

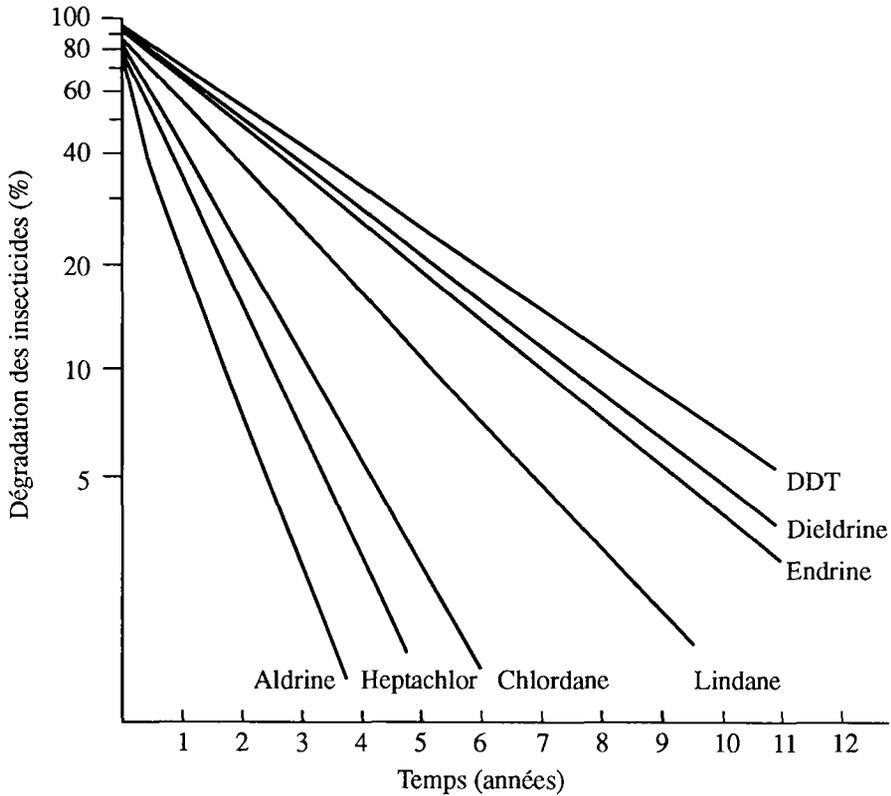


Figure 11. Dégradation des insecticides organochlorés dans le sol. Reproduit de "Persisten v Pesticides in the Environment" 1976, p16, avec la permission de Chemical Rubber Co., CRC Press, Inc.

nous de surveiller cette forme particulièrement insidieuse de pollution. Le Tiers Monde a déjà assez à faire avec ses problèmes classiques de santé !

Les solutions alternatives

Pour diminuer l'utilisation des pesticides il faut d'abord lutter contre l'idée que ces produits sont la panacée. Déjà, en 1962 à la parution de son livre «le Printemps Silencieux» Rachel Carson les comparait à des produits de l'âge de la pierre. Que dire alors maintenant que nous avons sous la main les biopesticides, les manipulations génétiques sur les plantes pour leur conférer une activité insecticide ou insectistatique ?

A l'heure actuelle, la lutte intègre l'emploi des phéromones.

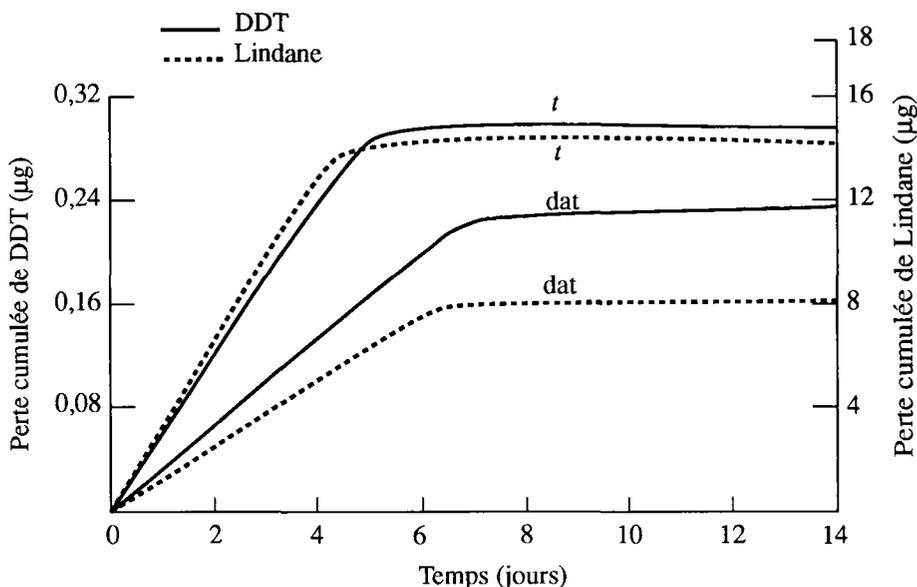


Figure 12. La volatilité du DDT et du Lindane à partir du sol lors d'un cycle sec à 30°C. (Gueuzi and Beard, 1970), t = terreau, dat = dépôt d'argile terreux.

Réglementation : extrait de «Chimie Actualité» 23 mai 1990 ; p.5.

Résidus de pesticides dans l'alimentation

• Publication des propositions de directives CEE

Bruxelles – Le *Journal officiel des communautés européennes* (1) a publié le texte des deux propositions de directives présentées au Conseil par la Commission de Bruxelles concernant «la fixation de teneurs maximales pour les résidus de pesticides sur et dans les céréales destinées à l'alimentation humaine» d'une part, et «sur et dans les denrées alimentaires d'origine animale» d'autre part. L'entrée en vigueur des dispositions de ces directives, dans l'état actuel des choses, est prévue pour le 1^{er} juillet 1991. Les teneurs maximales prévues par ces deux textes pourraient être dépassées :

- dans le cas des céréales : si les produits concernés ne sont pas destinés à la consommation immédiate et «s'il est garanti par un contrôle approprié qu'ils ne peuvent être mis à la disposition du consommateur final que lorsque les teneurs en résidus n'excèdent plus les teneurs maximales» fixées par ailleurs (Tableau XII);

- dans le cas des denrées alimentaires d'origine animale les teneurs maximales peuvent être plus élevées si elles sont exclusivement destinées à la fabrication de certaines préparations ou de certains mélanges.

(1) JO des CE du 6.3.80, pp. 14 et suivantes.

L'utilisation de l'azadirachtine, comme l'a montré ce matin Bernard Philogène, ou des propesticides, des répulsifs ou des divers produits allélochimiques est en mesure de remplacer les produits agrottoxiques. L'important est de ne pas céder à la facilité et à une publicité intéressée. Dans nos recommandations, il serait utile peut-être de suggérer la publication d'un périodique pour tenir informés les spécialistes de la lutte contre les nuisibles de ces avancées de la Science et de leurs applications pratiques rapides sur le terrain. Dans le Tiers Monde, les pesticides viraux ou bactériens (BT) sont capables d'alléger l'impact des pesticides de synthèse. En Chine, en Egypte, les phéromones sont utilisées avec succès. La lutte biologique est maintenant partout encouragée; en Malaisie et en Indonésie elle a permis de grands succès dans la protection du palmier à huile (utilisation par exemple de charançon *Elacidobius Kamerunicus* pour polliniser et comme entomophage). Les méthodes alternatives existent et remportent des succès.

Conclusion

L'utilisation des pesticides illustre une fois encore que l'Humanité est embarquée dans le même frêle esquif : la planète Terre. Ainsi, un pesticide, le leptophos, fabriqué aux USA où son utilisation n'est pas permise a été exporté en grands quantités en Egypte, en Indonésie et au Mexique.

En Egypte, il a provoqué la mort de 1500 buffles : c'est en fait un organophosphoré à effets neurotoxiques retard.

On l'a néanmoins retrouvé aux USA, sous forme de résidus, sur des laitues provenant du Mexique ! De même pour la dieldrine fabriquée en Hollande et exportée au Botswana.

Le boeuf exporté de ce pays africain vers les Pays Bas a été trouvé contaminé par ce cyclodiène interdit d'après la réglementation néerlandaise. Notre monde est basé sur l'interdépendance.

La récente invasion acridienne montre la nécessité d'une étude multidisciplinaire poussée de ce phénomène et comme l'a superbement montré cette Ecole, des chercheurs du Nord et du Sud ont dans ce domaine d'exaltantes perspectives de coopération en vue.

Références

1. La lutte anti-acridienne dans les pays du Sahel. (1988). *Science*, 23 décembre 1988, 1628.
2. Picot A. (1983). *La Recherche*, décembre 1983; 150 : 1584-1587.
3. L'épandage aérien des pesticides. (1978). *New Ecologist*, July, August 1978, 118.
4. Lagadec P. (1984). In : *La civilisation du risque*. Le Seuil, Paris.
5. Wilson S. (1988). *Science*, 23 décembre 1988, 242 : 1628.
6. Peter Fraser (1988). *Experimental eye research*, 49 : 193.
7. Le péril chimique. (1989). *Le Monde*, 1^{er} août et 13 septembre 1989.
8. Bouguerra ML. (1989). Les déchets toxiques. In : *l'Etat du Monde 1989-90, La Découverte*, Paris.
9. Symposium international sur le HCB. (1986). Centre international de recherche sur le cancer, Lyon, juin 1986.
10. Paying the price : Pesticides subsidies in developing countries. (1985). World resources Institute, research report n° 2, décembre 1985.

11. Anderson A. (1989). In : *Nature*, 28 septembre 1989, 341 : 274.
12. Bouguerra ML. (1987). Les résidus des pesticides. *La Recherche*, novembre 1987, 193 : 1386-1387.
13. Robert L. Pesticides and kids. *Science*, 10 mars 1989, 243 : 1280-1281.
14. *Journal officiel des Communautés Européenne*, 6 mars 1980; 14 et suivantes.
15. Sabbah S, Driss MR *et al.* (1987). In : *Analisis*, vol 17; 5 : 252-263; vol 15; 7 : 361-365; vol 15; 5 : 399-403.
16. *The Guardian*, 28 août 1989.
17. *The Financial Time*, 19 novembre 1989.
18. *The Observer*, 16 avril 1989.
19. Radomski JL *et al.* (1968). *Food Cosmet Toxicol*, 6 : 209.
20. Booth W. (1988). L'emploi des phéromones dans la lutte anti-acridienne. *Science*, 8 janvier 1988, 239 : 238-240.

Bibliographie générale

- ML Bouguerra. Les poisons du Tiers Monde. Editions *La Découverte*, Paris 1985.
- R Van den Bosch, JP Aeschlimann. *L'engrenage des pesticides*. Payot, Lausanne 1986.
- JT Arnason, BJR Philogène. Insecticides of plant origin : ACS Symposium, series n° 387. American Chemical Society Washington DC, 1989.
- F. Chabassou. Les plantes malades des pesticides. Bases nouvelles d'une prévention contre les maladies et parasites, Debard, Paris 1980.

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^e 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^e 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 α -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 10⁹ 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 bacilloées	Larves saines	Larves virosées
Enzymes				
GOT ¹	189,0	182,0	20,0	1200,0
ICDH ²	682,0	152,0	7,6	79,0
Phosphatase alcaline	200,0	420,0	16,0	1000,0
Métabolites				
Chlorure mEq/l	36,8	114,0	46,0	20,0
Glycérol libre mg/100 ml	7,2	4,2	47,2	14,0

¹ GOT : Glutamique oxalo acétique transminase

² ICDH : Isocitrate déshydrogénase

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

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 m² 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

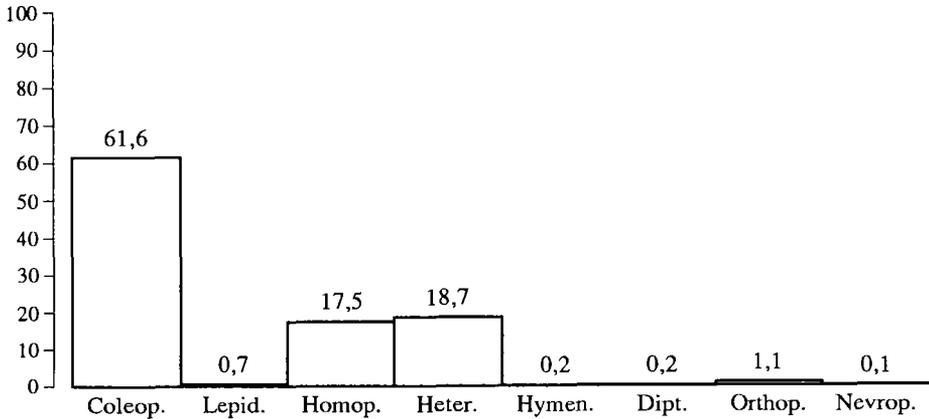


Figure 1. Entomofaune de l'arganier en l'absence de traitements insecticides. — Battage du feuillage de l'arganier.

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

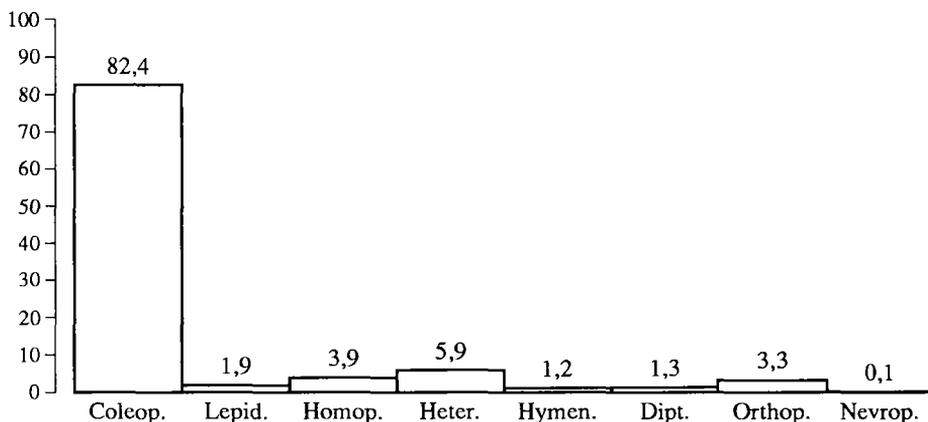


Figure 2. Entomofaune de l'arganier en l'absence de traitements insecticides. — Cénose complète de l'arganeraie.

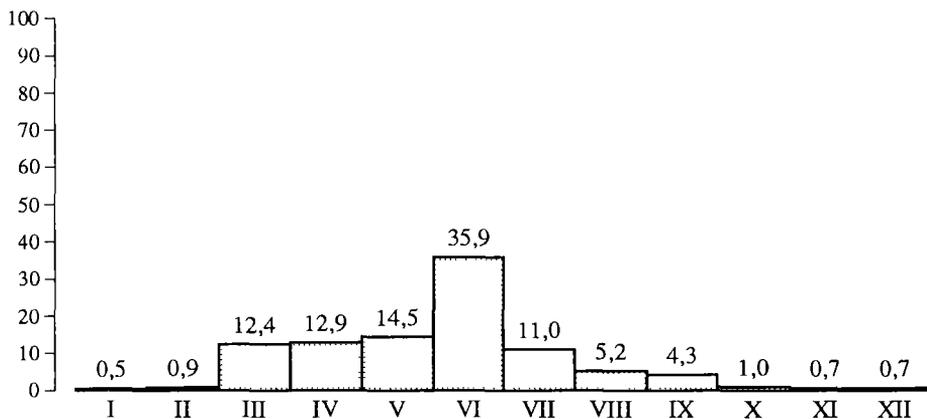


Figure 3. Variations saisonnières de la population entomologique du feuillage de l'arganier au cours de l'année : juillet 1955 - août 1956.

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 ⁽¹⁾.

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 *Spilothrips pendurus* f. *militaris* F., *Schires dubius* f. *melanopterus* H., *Coenocoris nerii* (Germ.), *Brachypelta aterrima* Forsk., *Macroscytus 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.

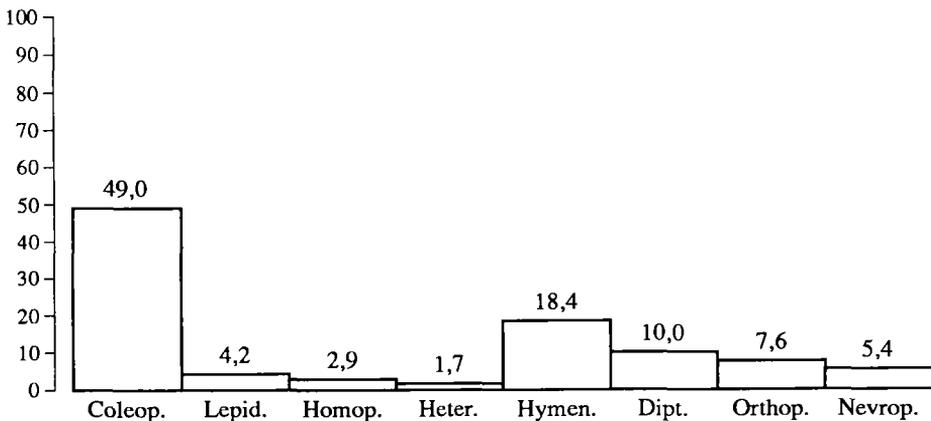


Figure 4. Entomofaune des plantations d'agrumes non soumises à l'action des insecticides.

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

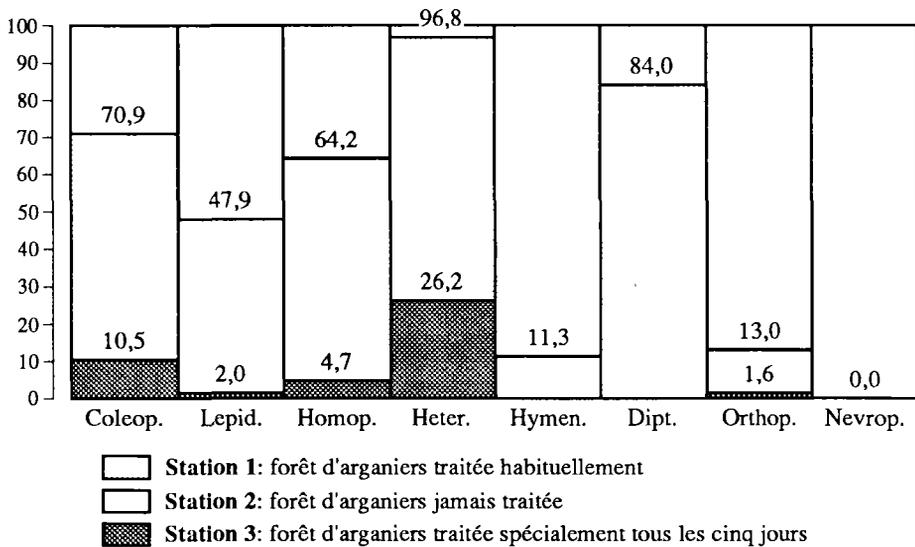


Figure 5. Modification de l'entomofaune de l'arganaie à la suite des traitements par HCH.

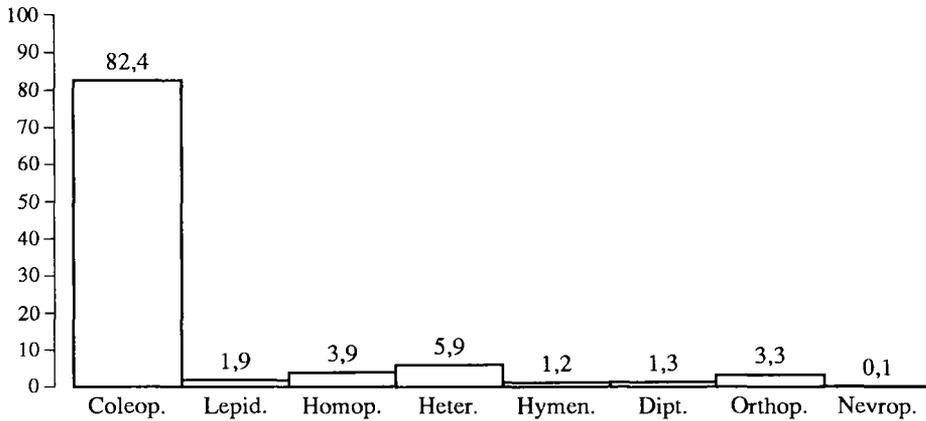


Figure 6. Comparaison entre l'entomofaune de l'arganeraie non traitée et de l'arganeraie traitée. — Forêt d'arganiers jamais traitée.

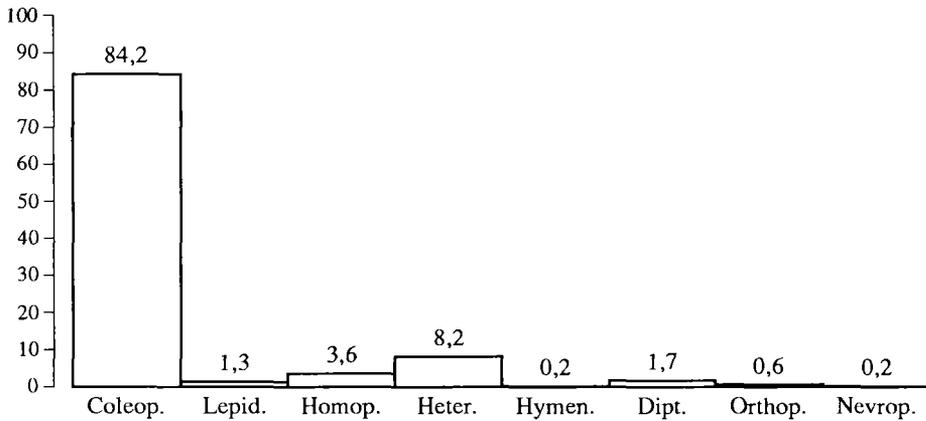


Figure 7. Comparaison entre l'entomofaune de l'arganeraie non traitée et de l'arganeraie traitée. Forêt d'arganiers traitée habituellement, 25% HCH.

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

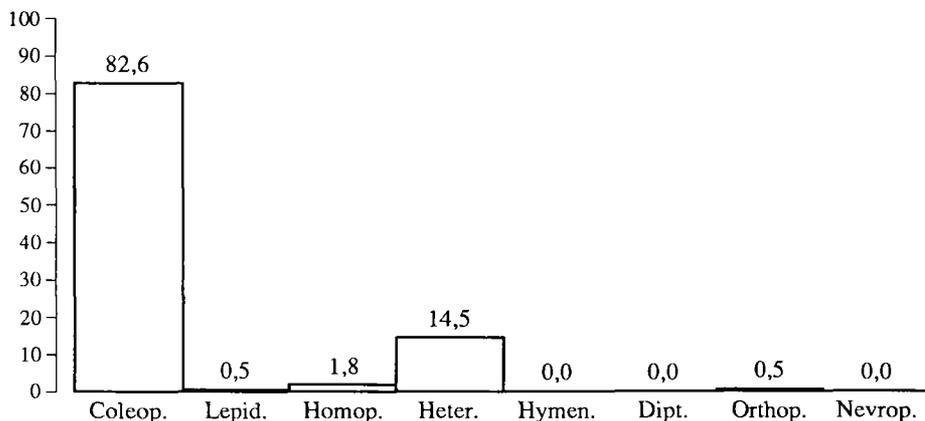


Figure 8. Comparaison entre l'entomofaune de l'arganeraie non traitée et de l'arganeraie traitée. Forêt d'arganiers traitée spécialement tous les cinq jours, 25% HCH.

Tableau VI. Variations dans la composition de l'entomofaune des vergers d'agrumes qui n'ont pas subi de traitements acaricides (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			
Coléoptères			
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
Hémiptères			
Pentatomidae			
	<i>Aelia acuminata</i> L.	+	+
	<i>Nezara viridula</i> F.	+	+
Orthoptères			
	<i>Mantis religiosa</i> L.	+	0
	<i>Schistocerca gregaria</i> F. (en période d'invasion)	+	+
	<i>Anacridium aegyptium</i> L.	+	0
Diptères			
	<i>Drosophila</i> pl. sp.	+	+
Hyménoptères			
	<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 maraichères (*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^e 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^{re} 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. Smirnov W. (1954) Observation sur l'emploi d'ester thiophosphorique dans les vergers d'agrumes. III^e Congrès international de l'Agrumiculture méditerranéenne, Alber, *Fruits et Primeurs*, 225.
18. Smirnov 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. Smirnov 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

