

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 pyrèthroïdes (Tableau II).

- Bendiocarbe

C'est un très bon acridicide. 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 Chemimova	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

Promesses et limites de la lutte chimique

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].

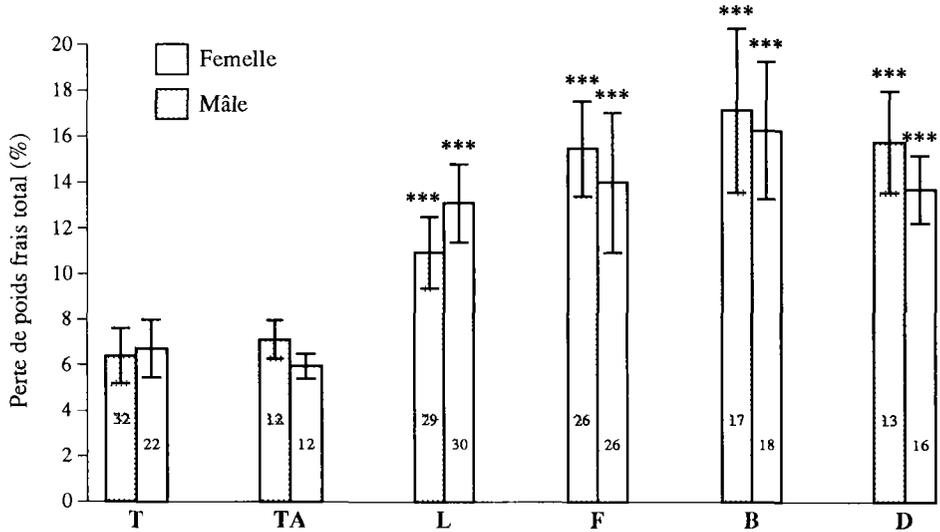


Figure 1. Pertes de poids des larves L5 de *Locusta migratoria* au jour J4 après 18 heures d'intoxication par des doses d'insecticides ayant provoqué 50% de *Knock-Down*. T : témoins; TA : témoins acétone; L : lindane ($3\mu\text{g.g}^{-1}$); F : fenthion ($5\mu\text{g.g}^{-1}$); B : baygon ($0,3\mu\text{g.g}^{-1}$); D : deltaméthrine ($0,125\mu\text{g.g}^{-1}$). *** $p \leq 0,1\%$.

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.

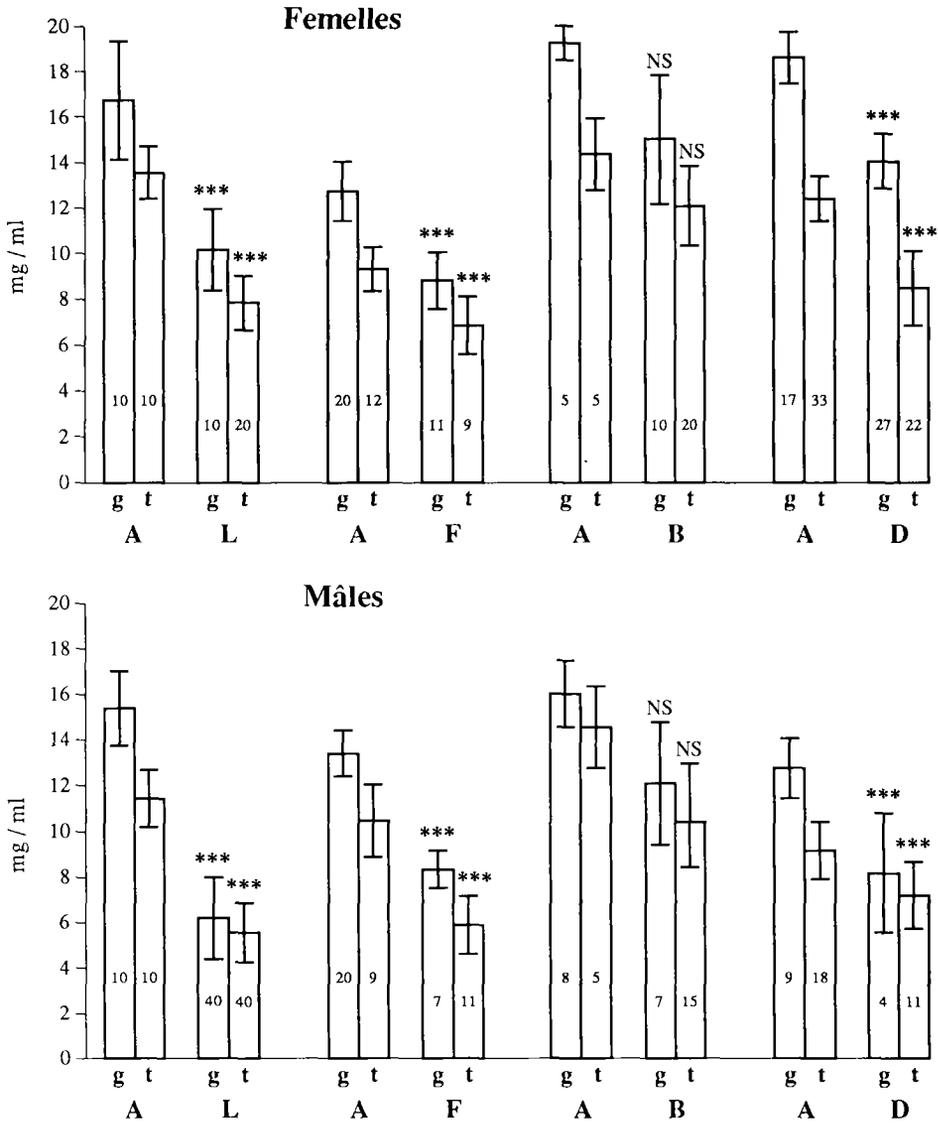


Figure 2. Effets du lindane, fenthion, baygon et deltaméthrine sur la concentration en glucides totaux et tréhalose de l'hémolymphe du stade 5 de *Locusta migratoria* (mâles et femelles âgés de 4 jours).

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. Goldsworthy 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. Sloley 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

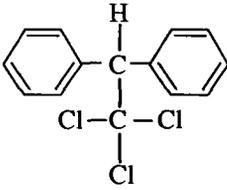
Depuis l'avènement des insecticides organiques de synthèse, à la fin de la deuxième guerre mondiale, de nombreuses substances actives ont été utilisées dans la lutte contre les criquets migrateurs. Ces dernières appartiennent aux quatre grandes catégories d'insecticides : organochlorés, esters phosphoriques, 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 grégariques. En réalité toute une série d'organochlorés y compris le DDT et le redoutable Endrine furent autrefois employés contre les invasions d'acridiens migrateurs.

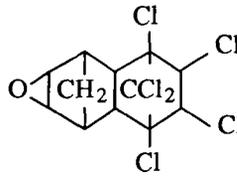
En ce qui concerne les Esters phosphoriques, le Parathion et ses congénères et en date plus récente, le Malathion, le Dichlorvos et le Fénitrothion ont donné lieu à un vaste usage. Les carbamates ont été également employés, quoique dans une moindre mesure, Carbaryl et Propoxur en particulier.

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

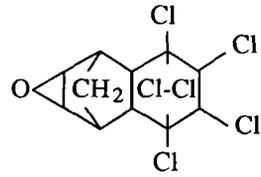
DDT



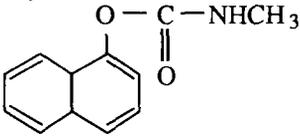
Dieldrine



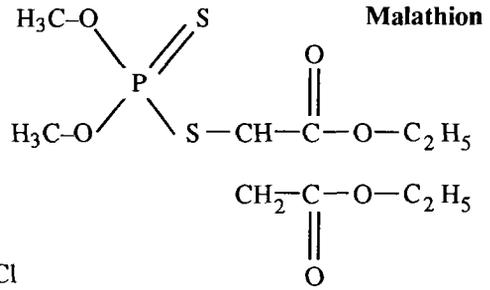
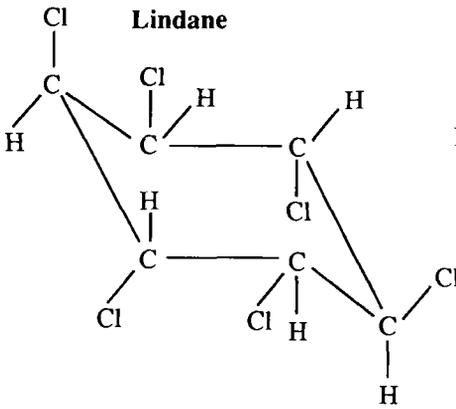
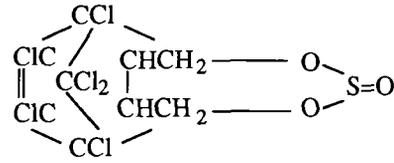
Endrine



Carbaryl



Endosulfan



Méthyl-Parathion

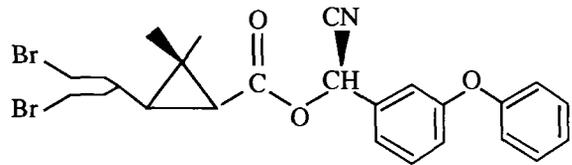
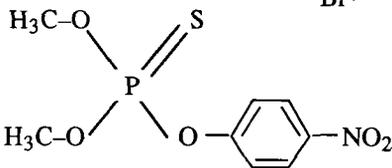


Figure 1. Formule chimique des principaux pesticides utilisés dans la lutte acricide.

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

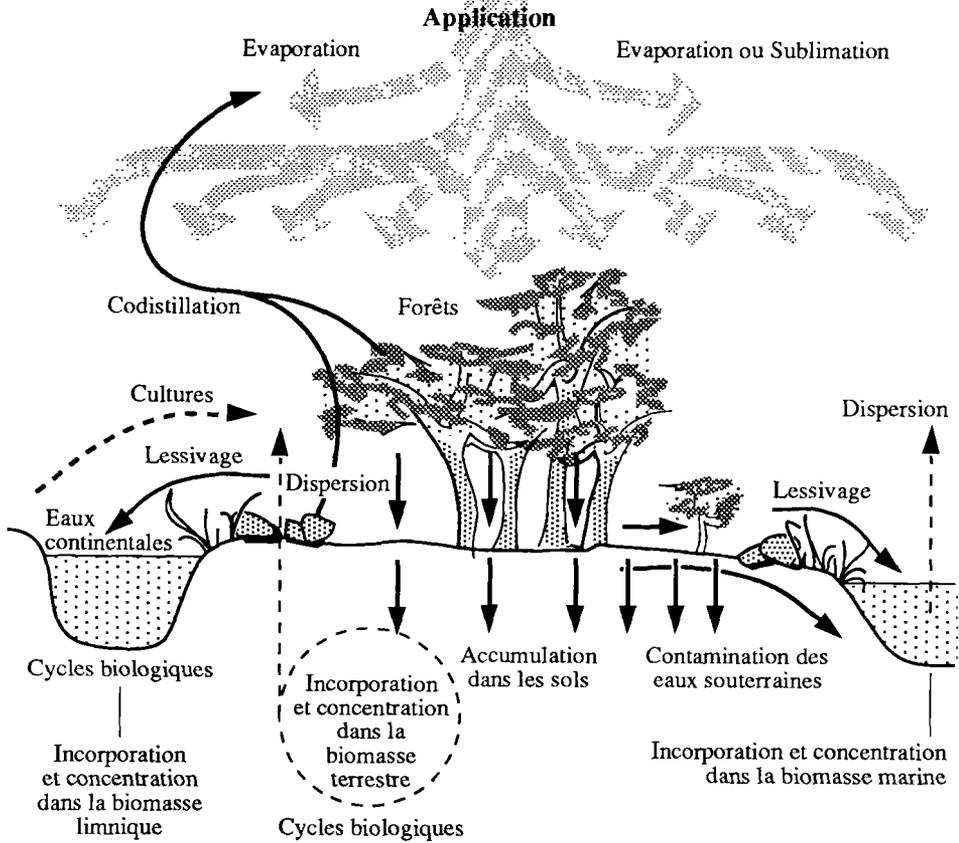


Figure 2. Schéma général de la dispersion des insecticides dans les écosystèmes (d'après F. Ramade, Ecologie appliquée, 1989; 200).

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 :

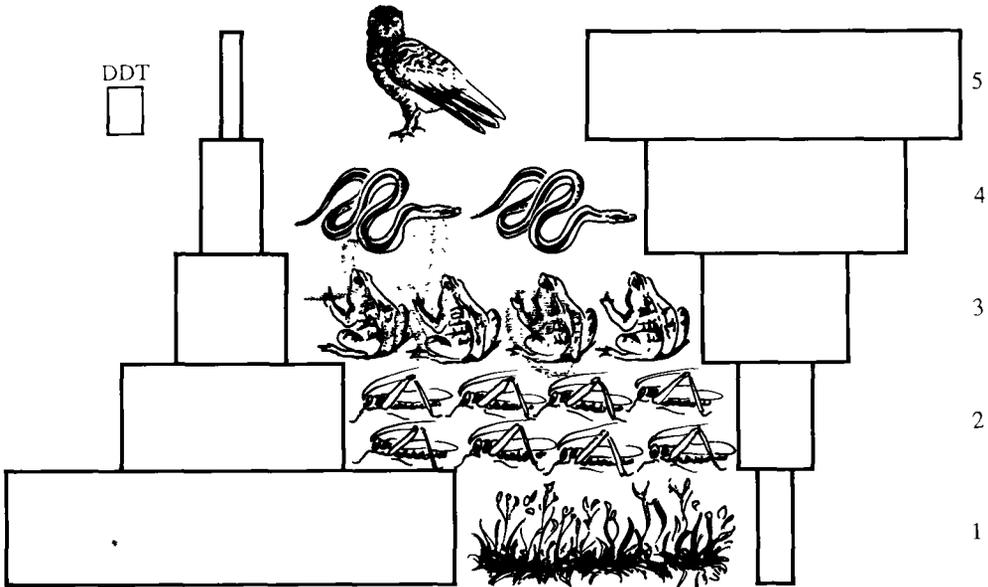
Sol	débris végétaux	vers de terre (<i>Allobophora caliginosa</i>)	crapaud (<i>Bufo americanus</i>)	Serpent (<i>Tamnophis sertalis</i>)
niveau trophique I		II	III	IV

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)

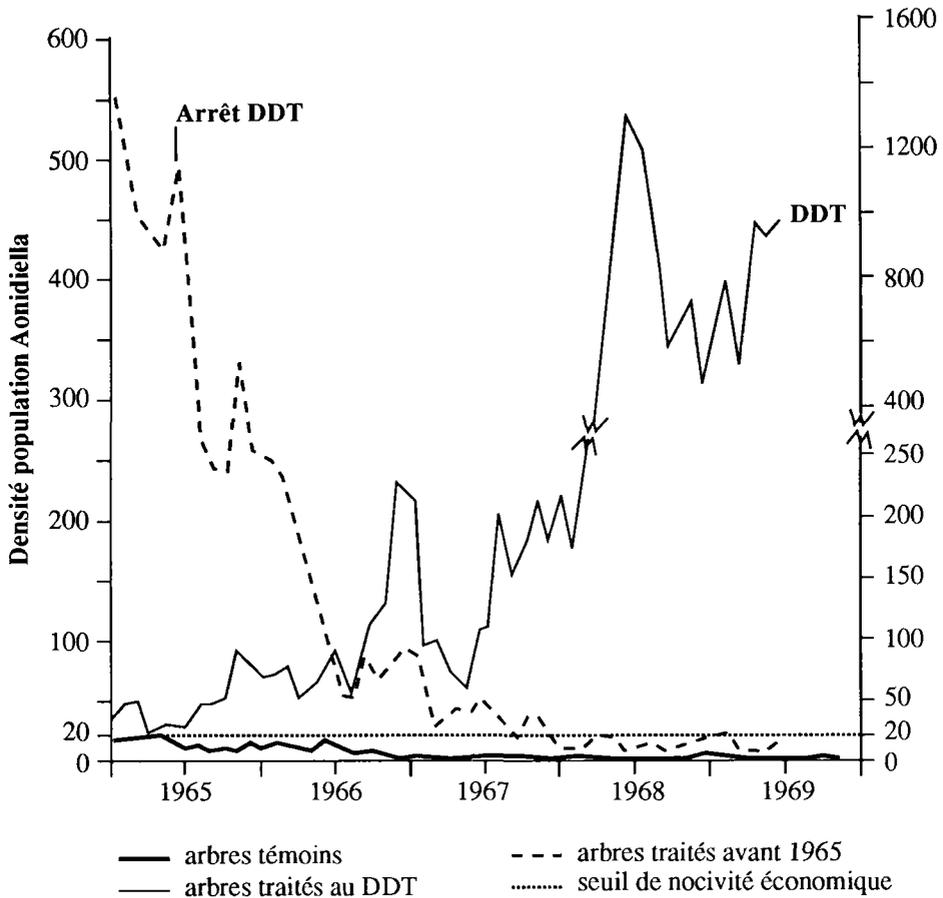


Figure 4. Exemple de déséquilibres biologiques induits par un insecticide. Ici, l'usage du DDT en détruisant les prédateurs et parasites de la cochenille des agrumes (*Aonidiella aurantii*) provoque sa multiplication. A l'opposé, la suppression du traitement insecticide se traduit par une diminution 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).

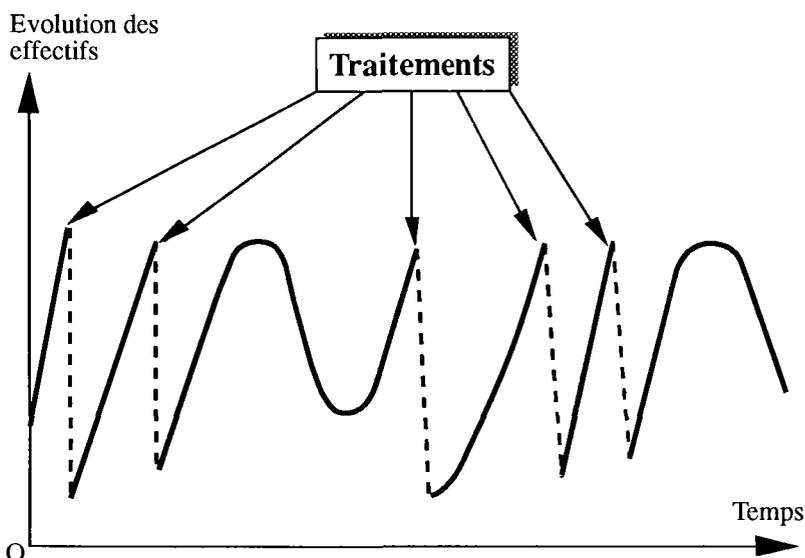


Figure 5. Effets des traitements insecticides sur les populations de ravageurs. Après la brutale chute des effectifs, on observe une remontée rapide de ces effectifs provoquée par la rupture des équilibres écologiques (in Ramade, 1973).

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 pyréthroides 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

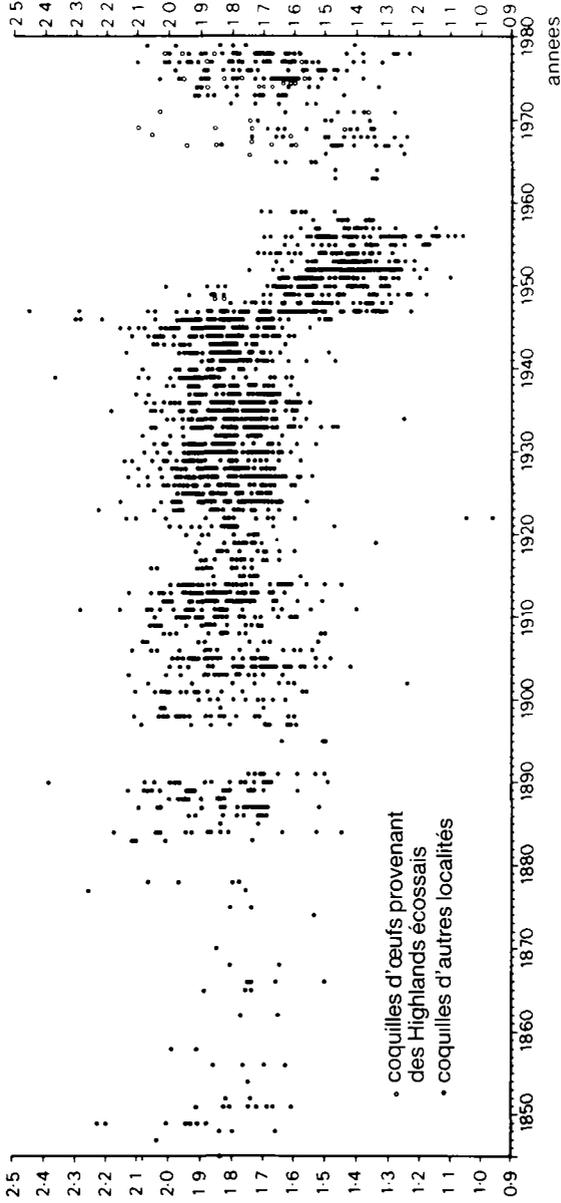


Figure 6. Variation d'épaisseur de la coquille des œufs de Faucon pèlerin en Angleterre et en Ecosse entre 1840 et 1980. on constate une subite diminution d'épaisseur à partir de 1946, date à partir de laquelle les insecticides organochlorés furent utilisés à vaste échelle dans ce pays et une récupération à partir du milieu des années 70 après leur interdiction (d'après Ratcliffe in Ramade, «Les Catastrophes écologiques», 1987).

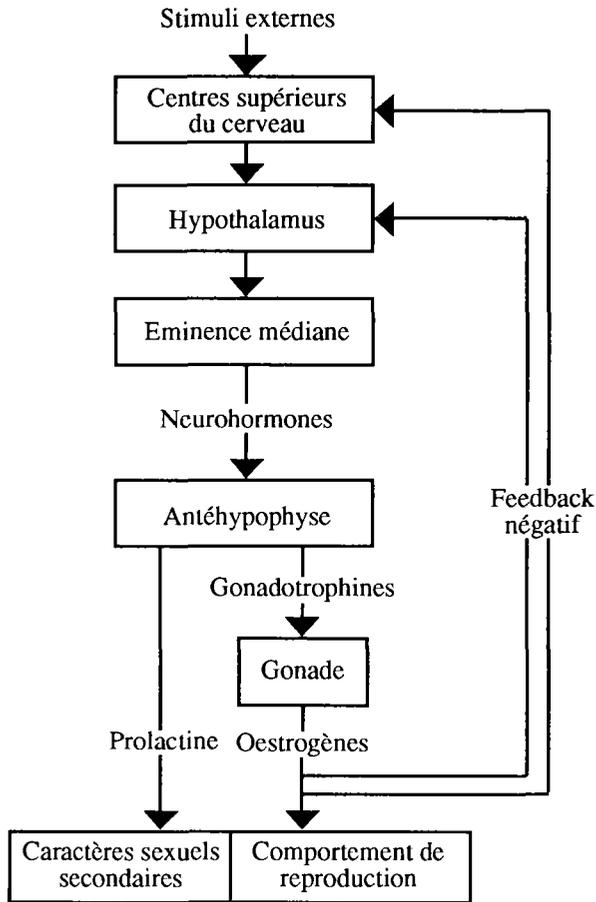


Figure 7. Corrélation Hypothalamo-Hypophysaire et régulations hormonales chez les Vertébrés (in F. Ramade, Ecotoxicologie).

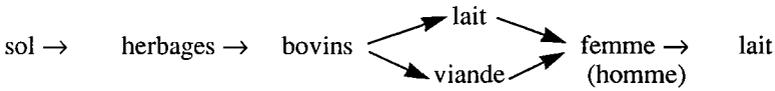
gonades, induisant divers troubles de la reproduction et chez les oiseaux de la couvaison (fig. 7).

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).

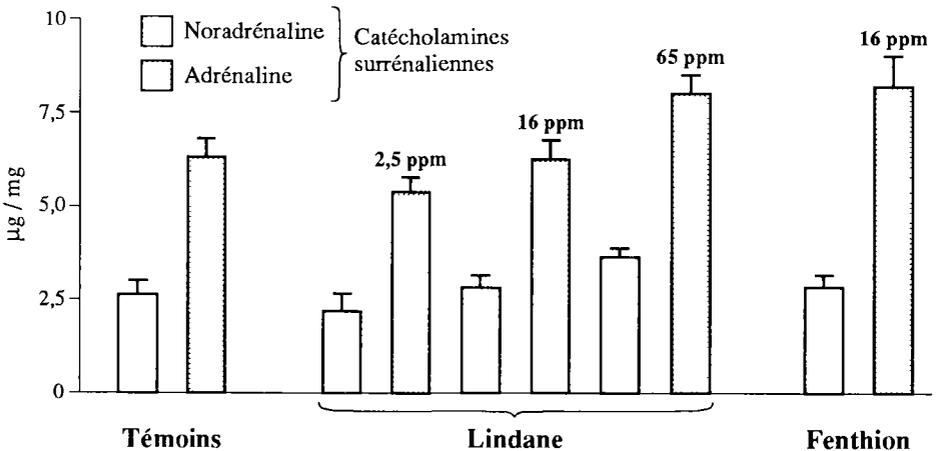


Figure 8. Effets du Lindane et du Fenthion sur l'activité surrénalienne de la souris (d'après Roffi et Ramade, Bull Soc Zool Fr, 1981; 2 : 171).

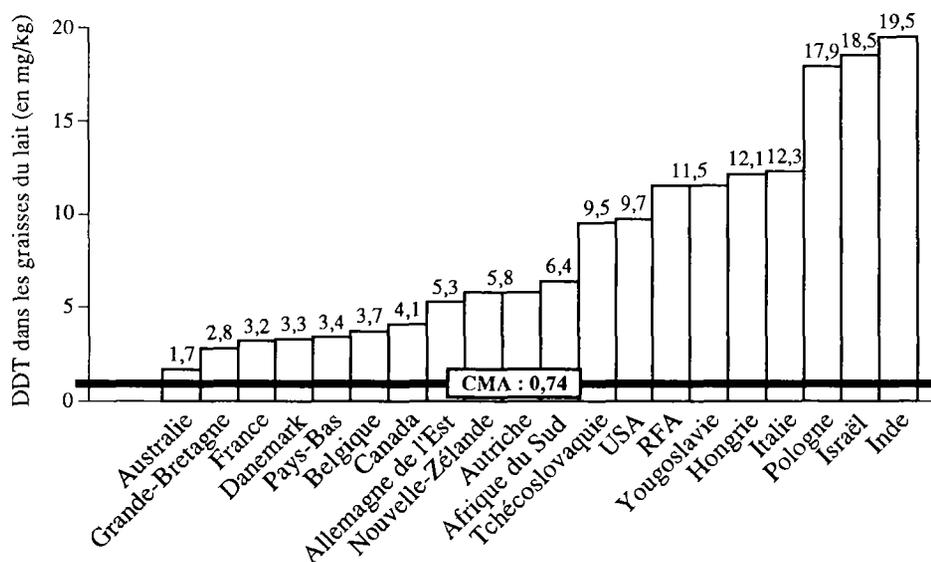


Figure 9. Concentration du DDT dans les lipides du lait maternel dans un ensemble de pays en 1980 (in Ramade, Les Catastrophes écologiques, 1987, Mac Graw Hill).

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].

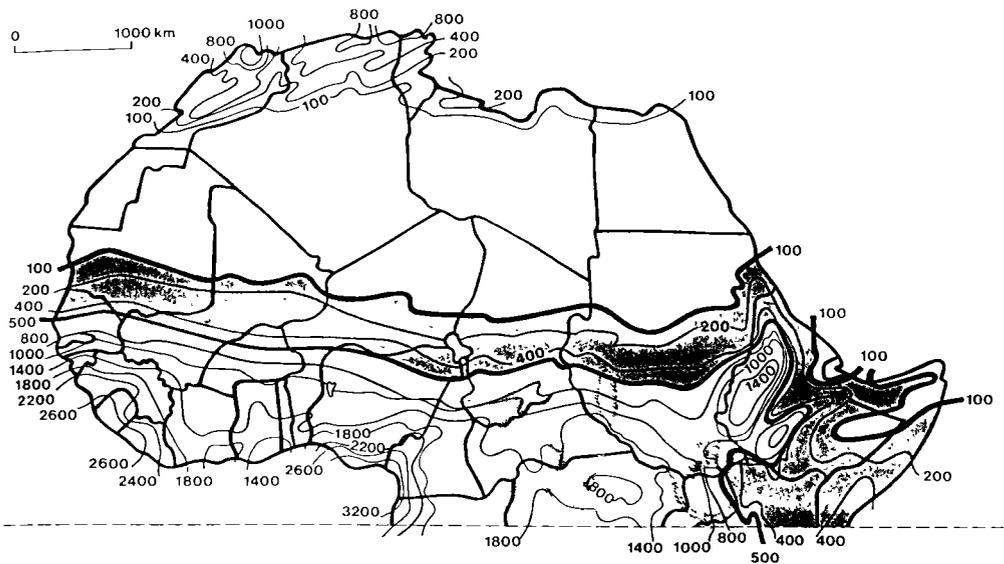


Figure 1. Localisation de la zone sahélienne en Afrique : elle est comprise entre les isohyètes 100 et 500 mm.

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 grégarigènes 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 poudreurs 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 acridicides 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. FOURLANE

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.

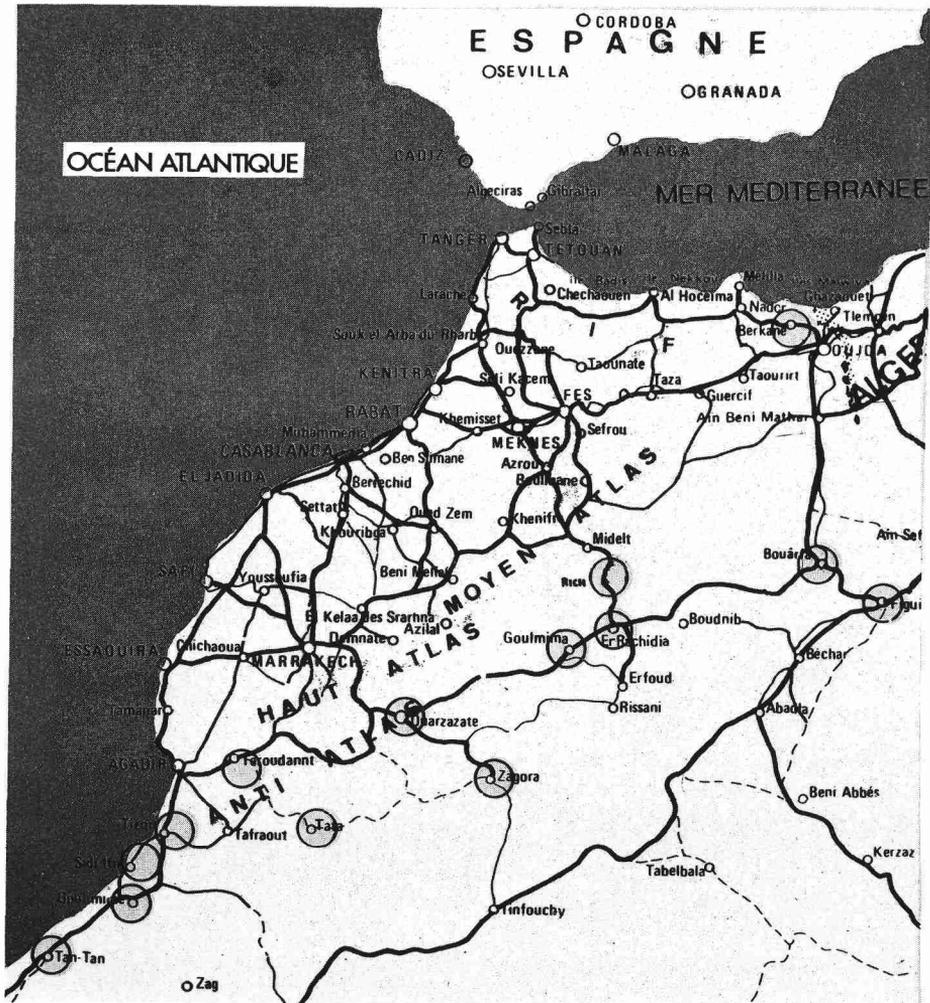


Figure 1. Situation des zones prospectées pour la recherche des pesticides.

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	Khémeg	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 Puits IRE n° 479/47	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		Puits Ait Si Hmad							0	630	0	<80
		Puits Boutakhzine							0	0	0	<80
		Puits Ait El Amel M. Idelsane drainage	25.5.88					*0	1250	0	0	<80
	Puits Tamesna	25.5.88					0	0	0	0	<80	
Agadir	Taroudant	Puits Zemrane						<0,05	0	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
		Saguia 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	Lin-dane	
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
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
		Puits 448/88	16.11.88	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,05	<80
	Guelmin	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
		Puits 313/80	19.11.88	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,05	-
	Tata	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 Entre Sidi Boubakher et Le Kef Eddarbi	400 1 500
Sfax	Naouel Henchir Ramed Bouthadi	705
Sidi Bouzid	El Mazzouna Ouled Slim El Mknassy Ouled Abid. Ben Aoun	300
Kasserine	Feriana Mejel Belabès Hidra	250 820 10 Une partie seulement de ces superficies a été traitée à l'HCH; le reste avec phosphamidon et Fénitrothion.
Kairouan	Chbika Sidi Amor Bouhajla Oueslatia Jebel Essers	800 Une partie seulement de cette superficie a été traitée à l'HCH, le reste avec deltaméthrine.
Tatahouine	Kammour Remada El Achouch (Nord Est de Remada) Triguette	200 200 200 1 400
Médenine	Fej Errejel Oum Hassen Jorf Gasaât echich Bouhrara Beni Ghzayel Zone Grar (Route de Gabès)	150 150 5 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

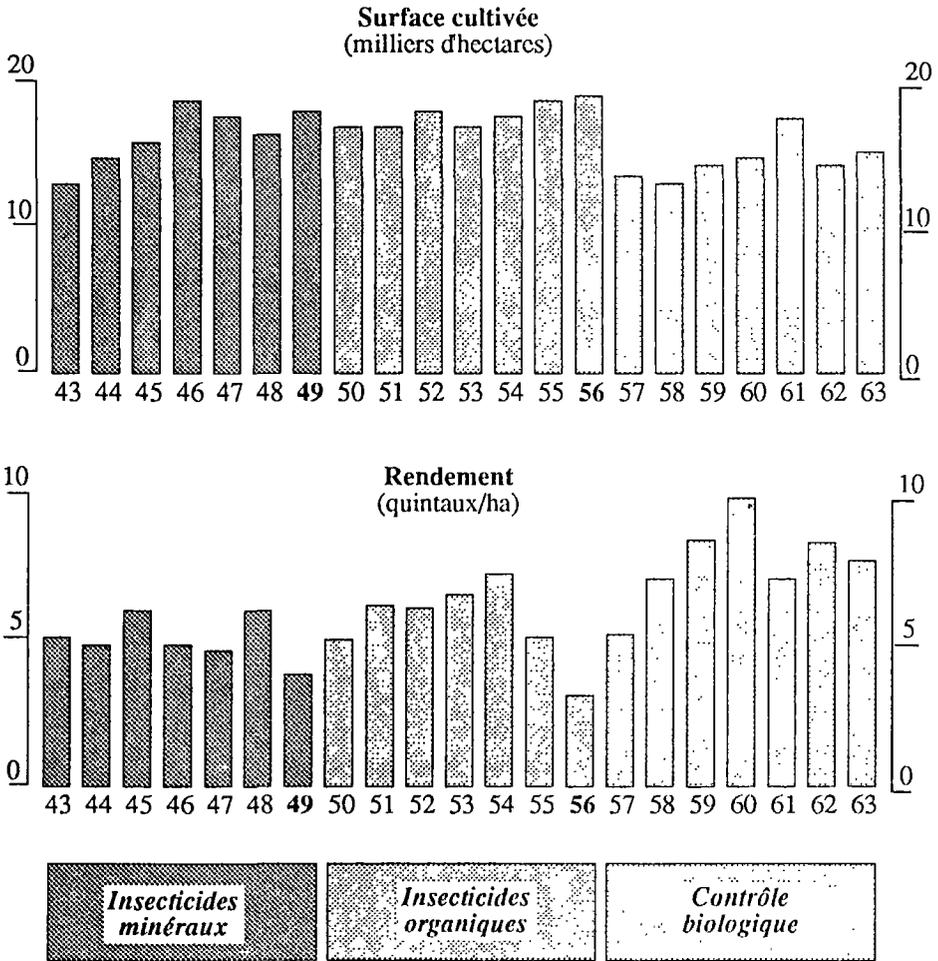


Figure 1. L'utilisation du contrôle biologique a permis de rétablir les équilibres naturels dans la vallée de la Canete. On notera le rendement particulièrement désastreux de 1956 en dépit de l'emploi massif de produits agrottoxiques. La raison en est principalement la résistance acquise par les prédateurs (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

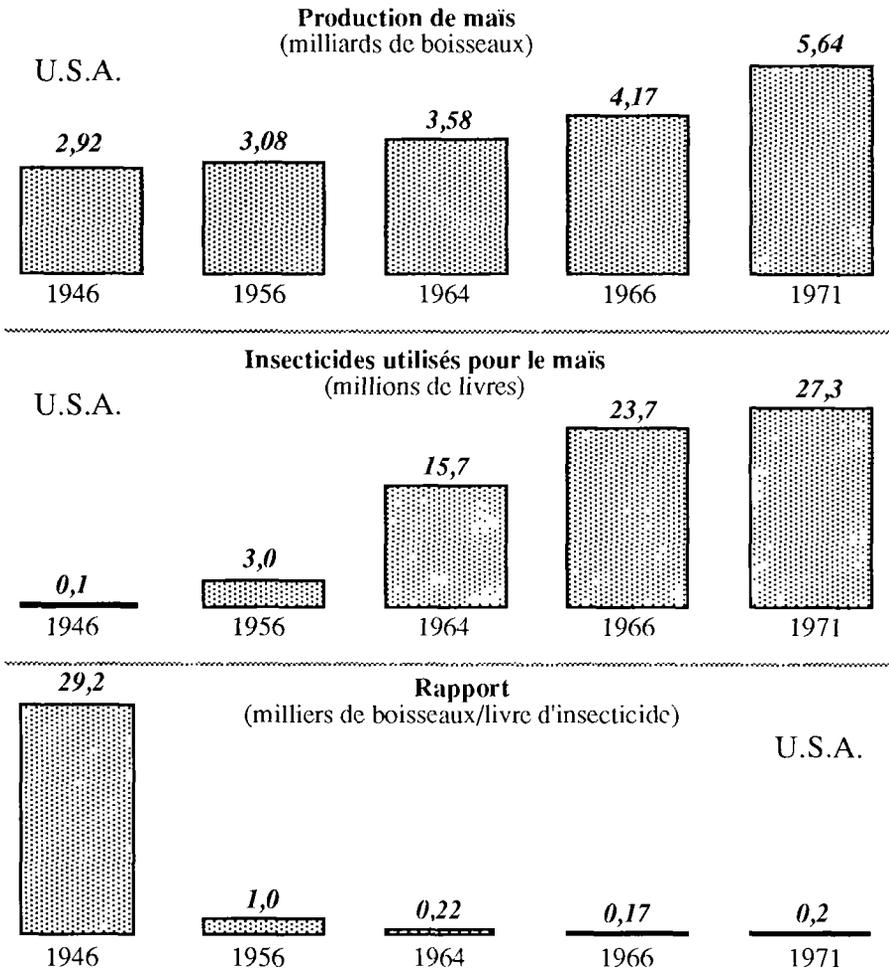


Figure 2. En un quart de siècle, la production de maïs a presque doublé mais les quantités d'insecticides utilisées sur cette culture ont été multipliées par 270 !

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.

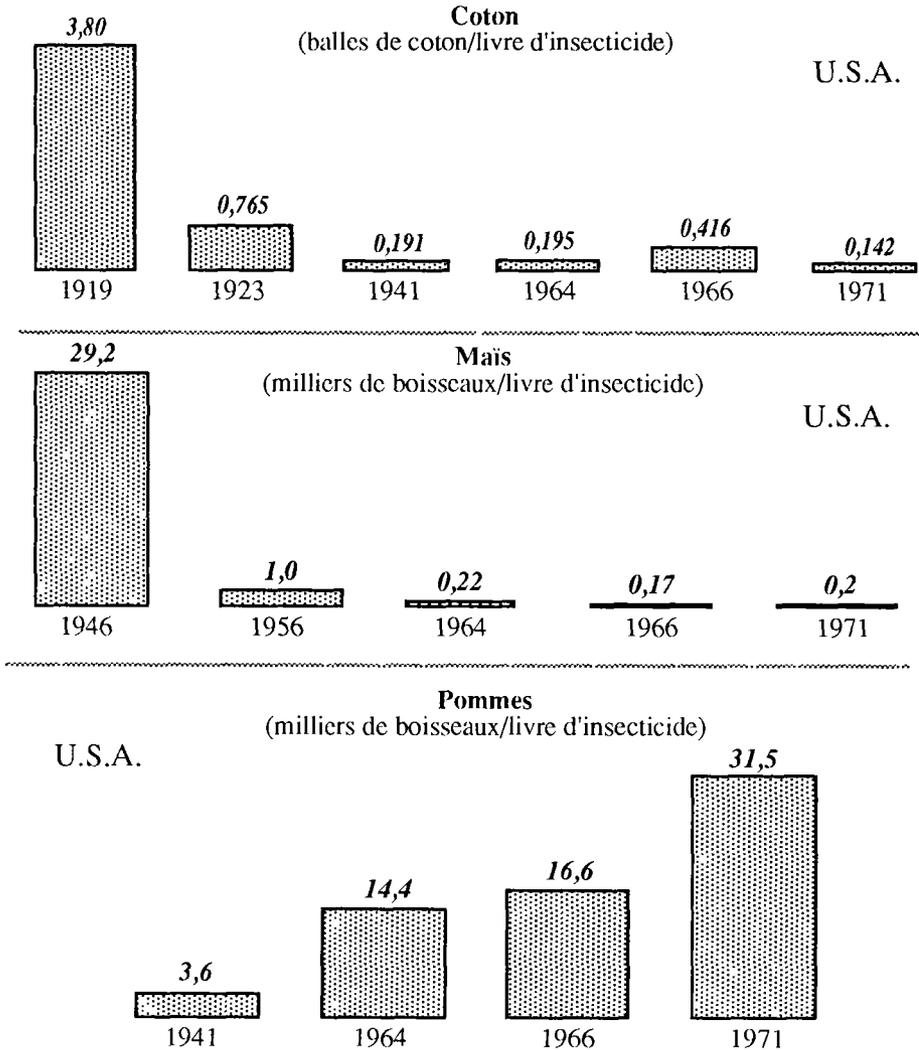


Figure 3. Sur le coton et le maïs, les quantités d'insecticides synthétiques utilisées sont de plus en plus importantes. Pour les pommes, le passage à la lutte biologique et aux méthodes alternatives a permis de maintenir de bons rendements.

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

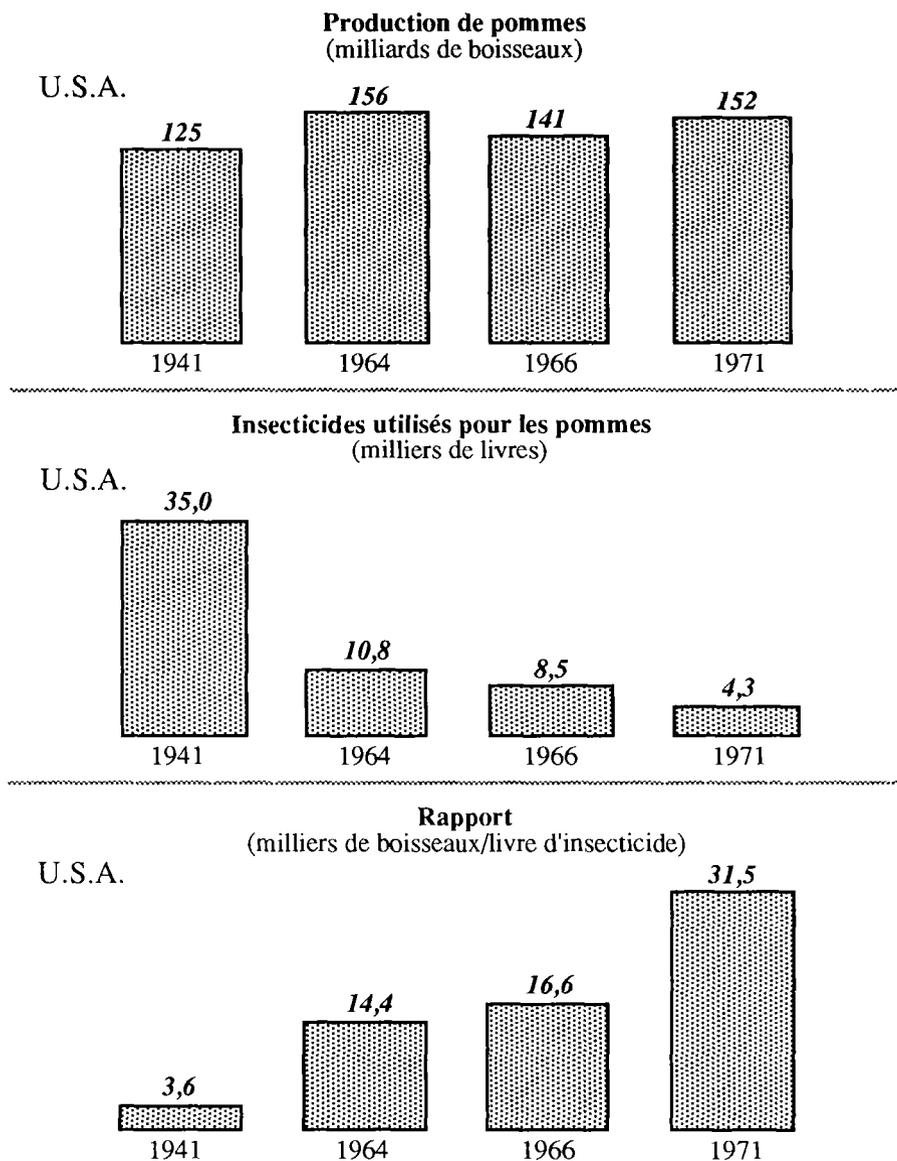


Figure 4. Les bons rendements ne vont pas de pair nécessairement avec les quantités d'insecticides utilisées. Pour les pommes aux Etats-Unis ; le passage à la lutte biologique et aux méthodes alternatives a permis de libérer cette spéculation agricole du carcan chimique.

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. Nématicides :	Mocap	Dibromo-1,2 chloro-3 propane
8. Régulateur de la croissance des plantes :		
	Hydrazide maléique	
9. Raticides :		
	Alphanaphtylthiourée (ANTU)	Fluoroacétamide de sodium
	Gophacide	Strychnine
	Fluoroacétate de sodium	
	Thallium	
10. Substance à ingérer par le bétail et les animaux de basse-cour :		
	Diéthylstilbestrol	
11. Pesticides à usages multiples (plus de deux utilisations) :		
	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.

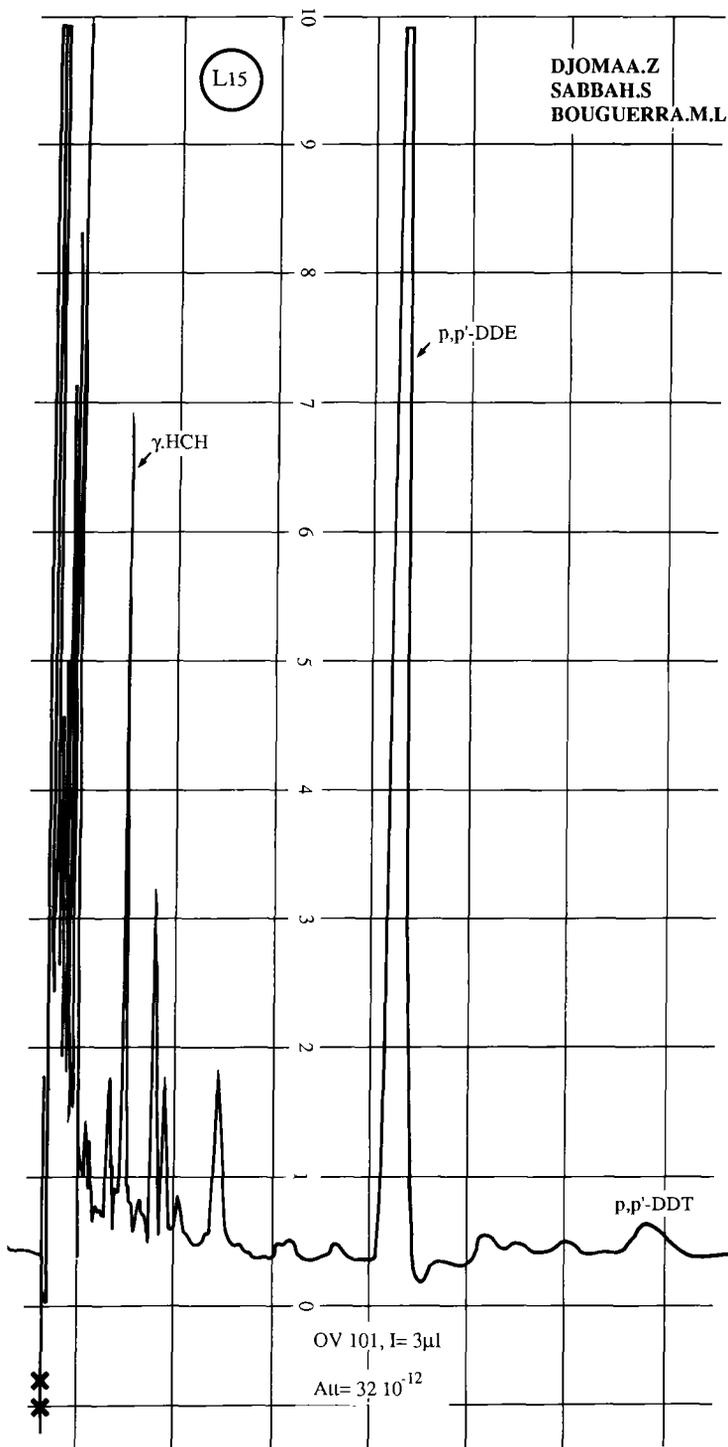


Figure 5. Echantillon de lait maternel. Chromatogramme des résidus de pesticides (M.L. Bouguerra et al).

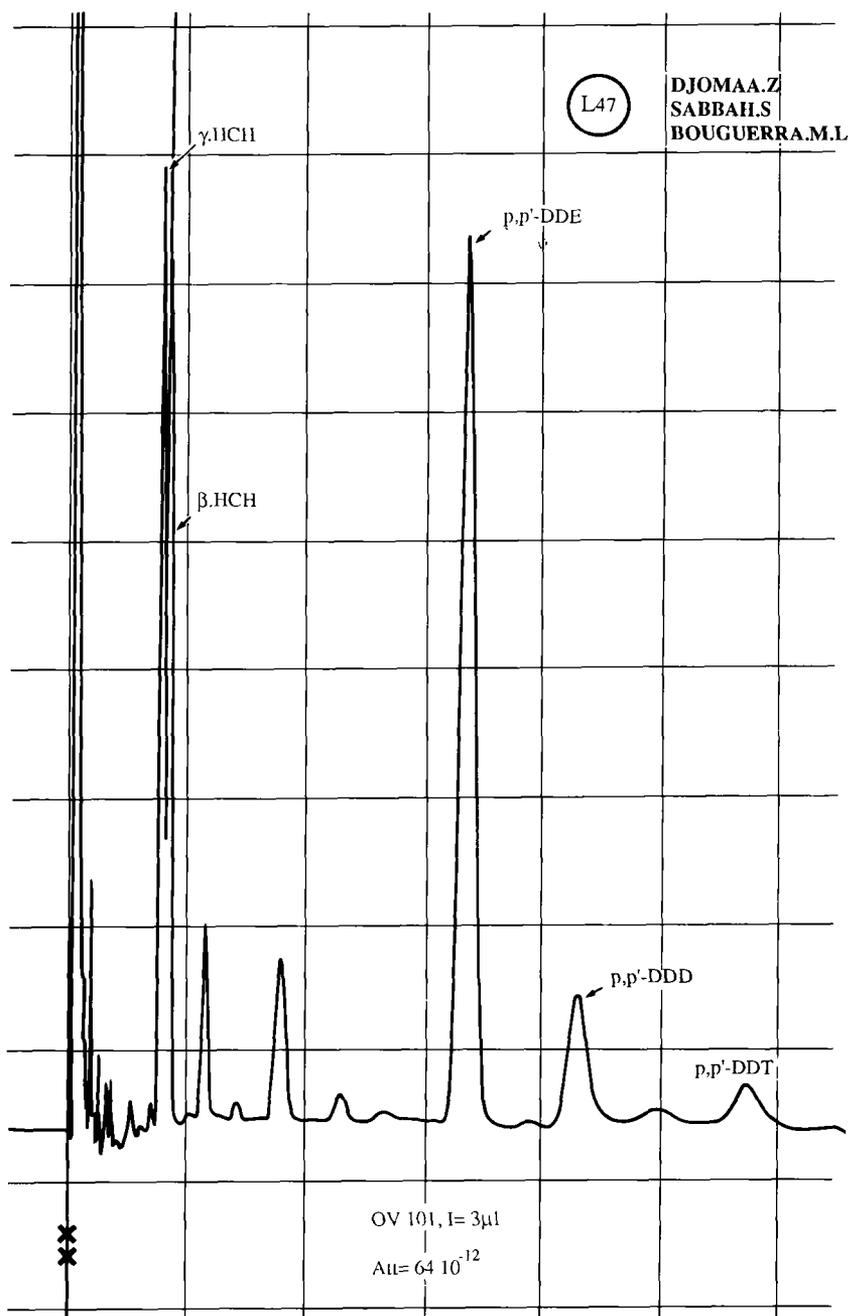


Figure 6. Echantillon de lait maternel. Chromatogramme des r sids de pesticides (M.L. Bouguerra et al).

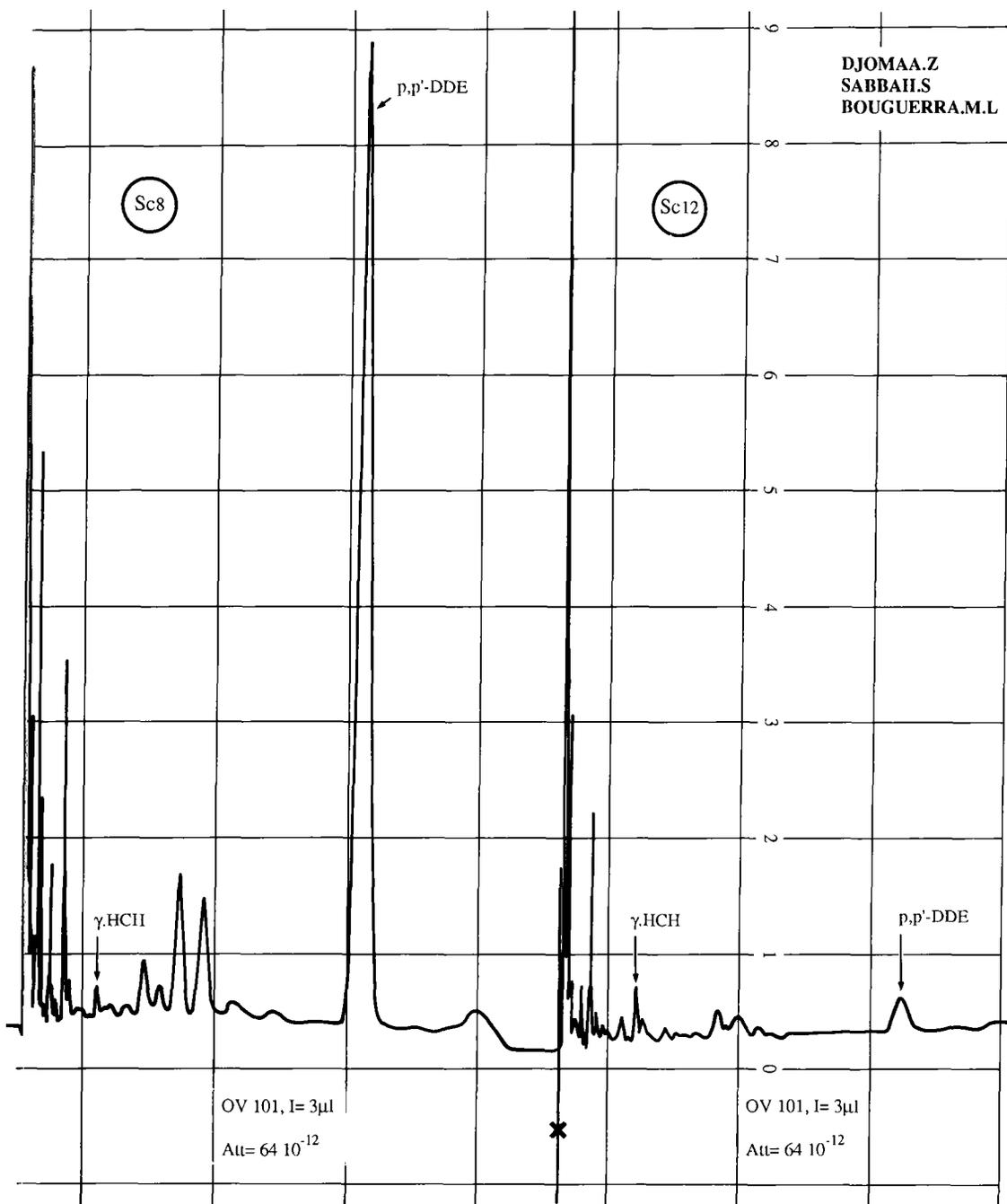


Figure 7. Echantillon de sang de cordon. Chromatogramme des résidus de pesticides (M.L. Bouguerra *et al.*).

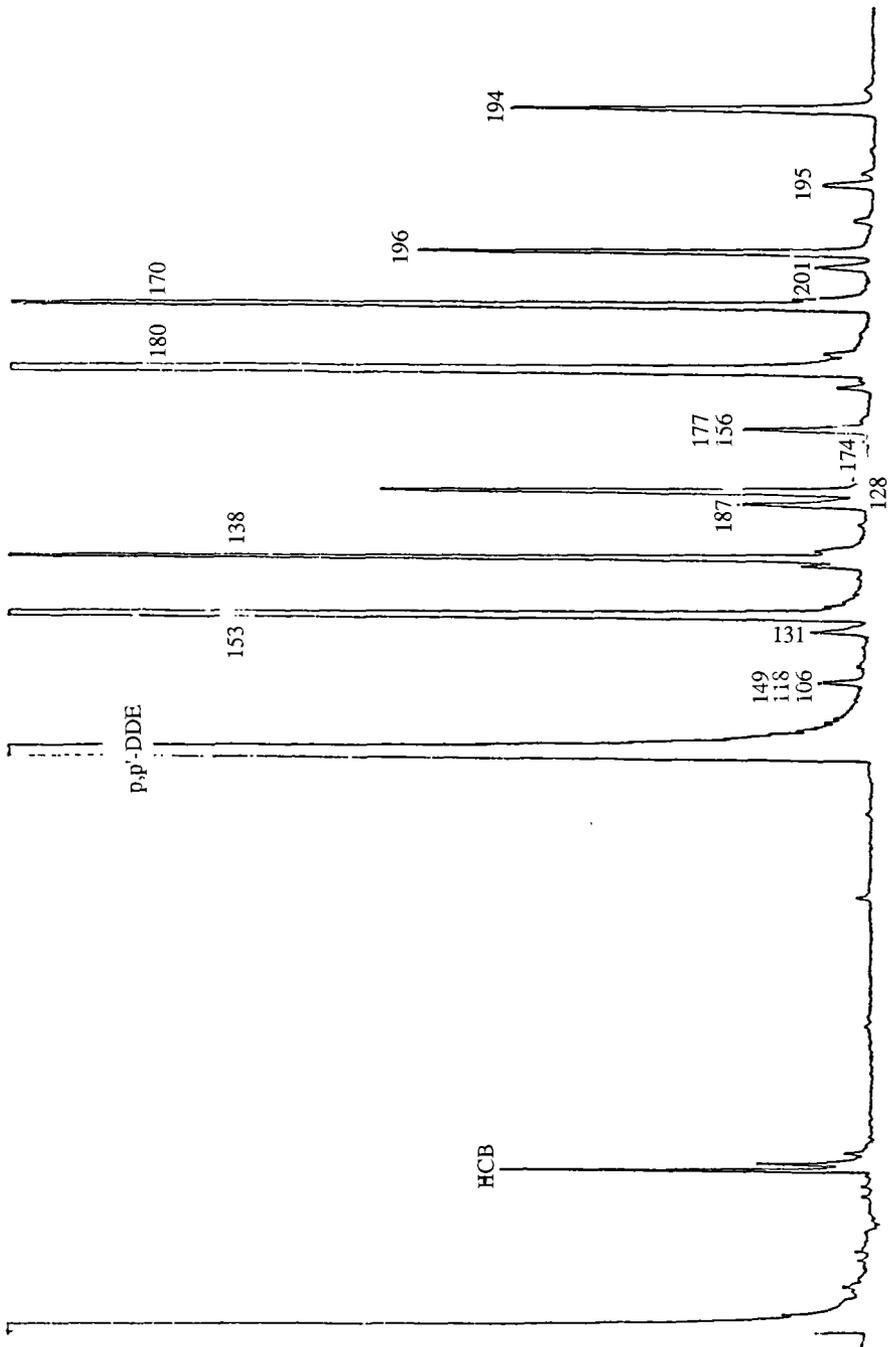


Figure 8. Extrait d'œuf de faucon. Chromatogramme des résidus de pesticides organochlorés et de PCB (M.L. Bouguerra *et al.*).

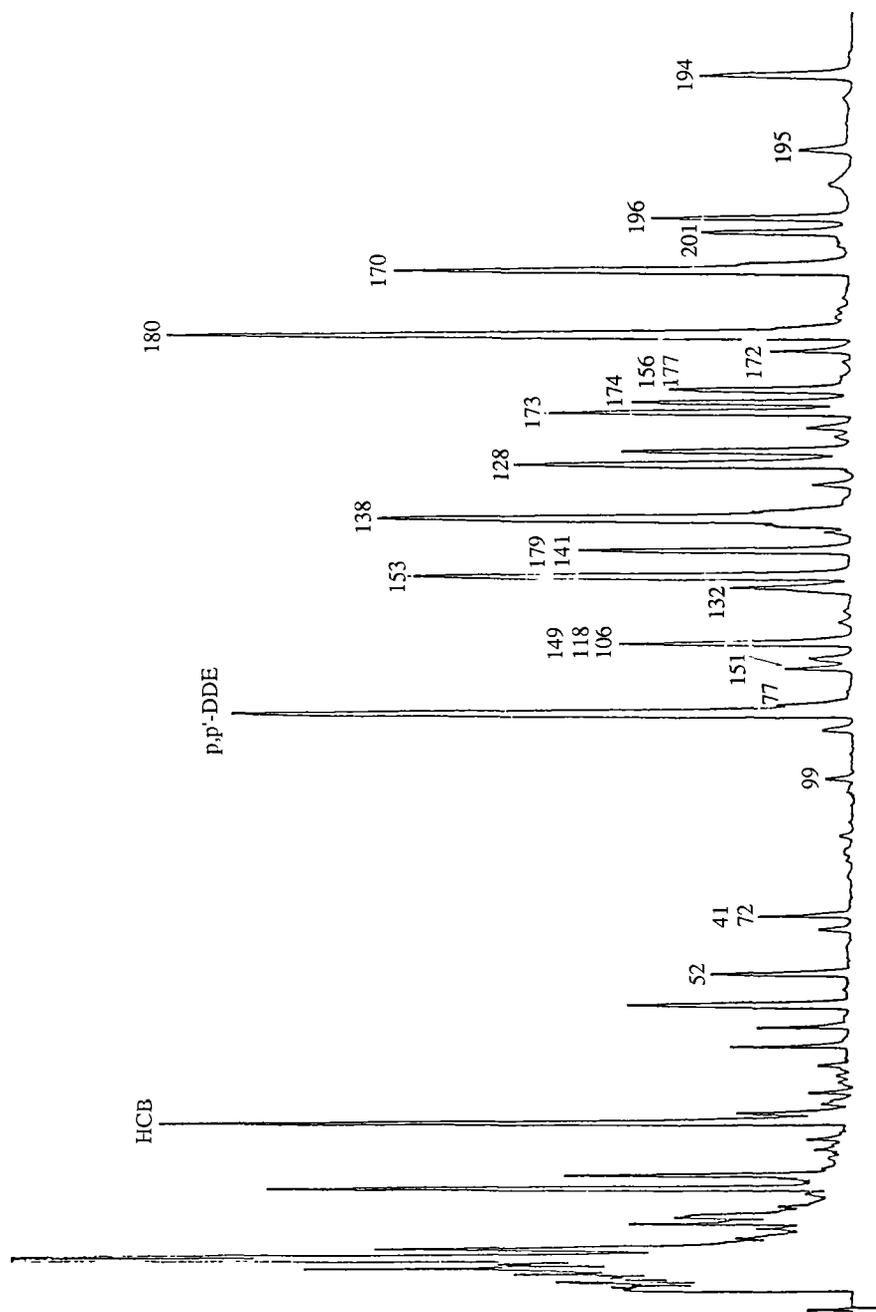


Figure 9. Extrait de lait maternel. Chromatogramme des résidus de pesticides organochlorés et de PCB (M.L. Bouguerra *et al.*).

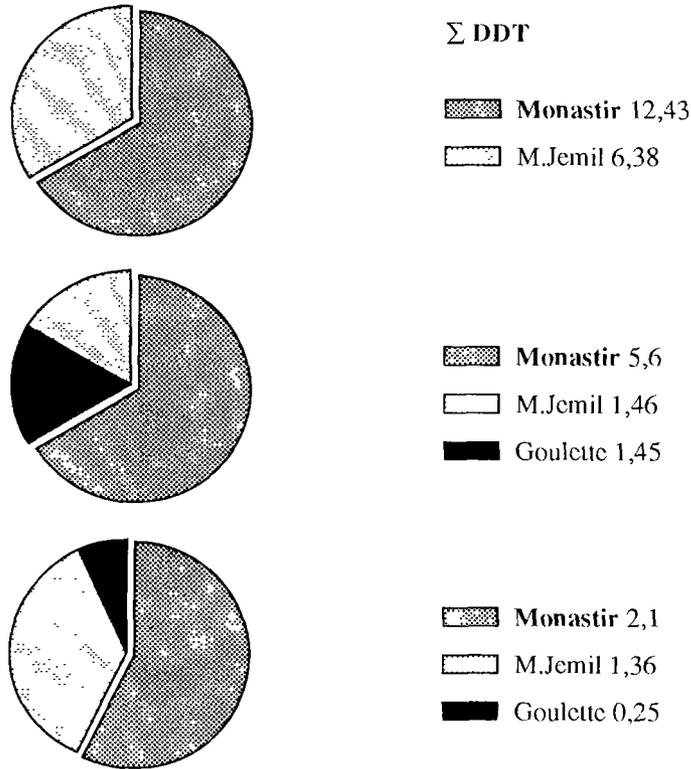


Figure 10. Moyenne des taux de résidus d'organochlorés détectés en ppb dans les moules en Tunisie.

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

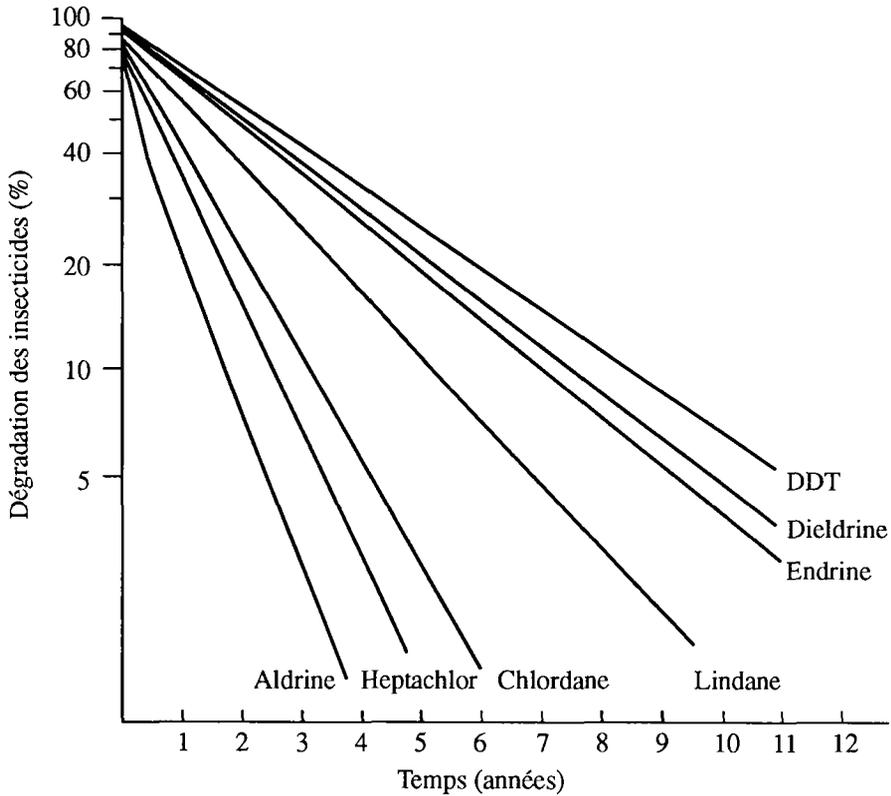


Figure 11. Dégradation des insecticides organochlorés dans le sol. Reproduit de "Persisten v Pesticides in the Environment" 1976, p16, avec la permission de Chemical Rubber Co., CRC Press, Inc.

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.

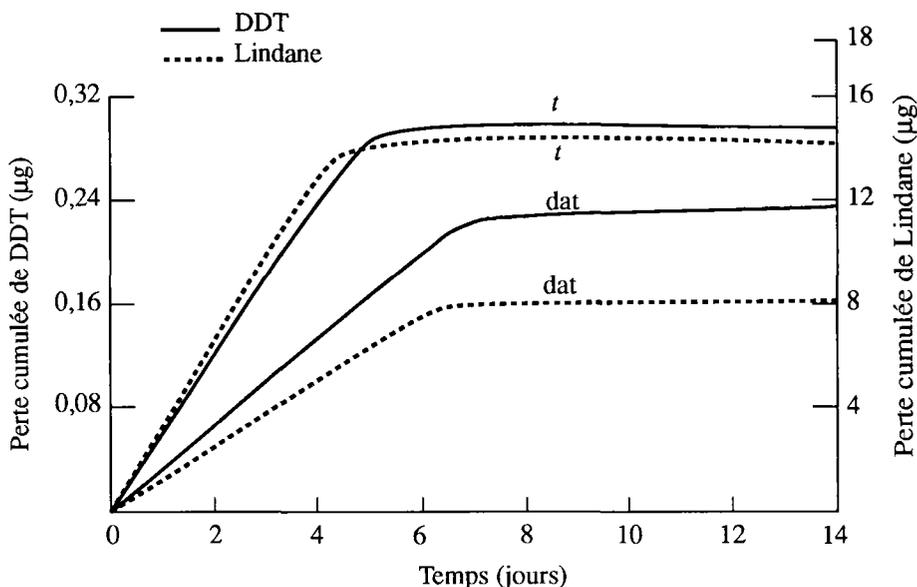


Figure 12. La volatilité du DDT et du Lindane à partir du sol lors d'un cycle sec à 30°C. (Gueuzi and Beard, 1970), t = terreau, dat = dépôt d'argile terreux.

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.