

Les pesticides dans les milieux marins tropicaux: tableau de la situation

Des projets appuyés par l'AIEA au Mexique et dans d'autres pays soulignent la nécessité d'en savoir davantage sur les effets des pesticides sur les écosystèmes

par F.P. Carvalho
et R.J. Hance

S' il est notoire que les prévisions des tendances économiques et démographiques sont controversées, il semble généralement admis que la planète comptera environ 11 milliards de bouches à nourrir en 2050, soit à peu près deux fois plus qu'en 1990. Or, d'ici là, le stock de terres agricoles va diminuer, par suite de l'urbanisation, de l'érosion, et de la désertification. Il a été prédit que la superficie arable par personne, qui était de 0,3 ha en 1981, tomberait à 0,22 ha en l'an 2000 et à 0,13 ha en 2050.

Il est fort probable que les pesticides continueront de jouer un rôle fondamental dans de nombreux systèmes agricoles. On estime que les insectes nuisibles, à eux seuls, détruisent encore environ le tiers des récoltes mondiales mais, si l'on ne faisait pas appel à des produits chimiques pour protéger les cultures, les rendements baisseraient sans doute encore de 30% à 75%. On ne s'étonnera donc guère de la place qu'occupent les pesticides, dont environ 5 millions de tonnes sont utilisées chaque année, représentant une valeur de 26 milliards de dollars E.U.

Avec l'adoption croissante de stratégies biologiques et culturales, les produits agrochimiques, à n'en pas douter, donneront lieu à des emplois plus subtils, mais on peut difficilement envisager leur disparition. Dans les pays développés, il est moins sûr que toute la gamme et les modalités d'emploi des produits actuels se maintiendront (*voir les graphiques*) mais, dans les pays en développement, il y a peu de chances que les choses changent rapidement, simplement pour des considérations de coût.

Préoccupations écologiques et sanitaires

Contrairement à beaucoup d'autres produits chimiques considérés comme polluants, les pesti-

M. Carvalho est membre du Laboratoire d'étude du milieu marin de l'AIEA, situé dans la principauté de Monaco, et M. Hance est chef de la section des produits agrochimiques et des résidus de la Division mixte FAO/AIEA des techniques nucléaires dans l'alimentation et l'agriculture, au siège de l'AIEA à Vienne.

cides sont délibérément introduits dans l'environnement pour détruire des organismes particuliers. Le manque de sélectivité de certains d'entre eux et leur emploi inconsidéré, dans certaines régions, ont eu des effets néfastes. Le DDT a été le premier à attirer l'attention du grand public en raison de ses effets sur d'autres organismes que ceux qui étaient visés. Chez plusieurs espèces d'oiseaux, le DDT et d'autres pesticide organochlorés fragilisent la coquille des œufs, ce qui réduit suffisamment la couvaison pour entraîner une baisse de la capacité de reproduction et, de ce fait, une diminution des populations.

Les pesticides organophosphorés, et dans une moindre mesure les carbamates, en revanche, influent directement sur la mortalité, en inhibant l'activité de l'acétylcholinestérase, ce qui entraîne l'interruption de la fonction nerveuse et provoque une issue fatale. Quel que soit leur mode d'action, les pesticides, en détruisant ou en réduisant sensiblement les populations de certaines espèces, peuvent altérer la structure (richesse en espèces, densité biologique et diversité) et les activités fonctionnelles d'un écosystème. La situation devient particulièrement préoccupante quand des espèces prédatrices sont touchées, car il n'y a plus alors de régulation des espèces dont elles se nourrissent.

Si ces produits chimiques sont surtout présents dans l'environnement des régions où ils sont fabriqués et épanchés, on a de plus en plus souvent signalé, ces dernières années, des concentrations importantes de résidus de pesticides dans presque toutes les régions du monde. On en a trouvé des traces dans l'atmosphère, dans les eaux de pluies, dans les eaux superficielles et souterraines, dans les sols, et dans les aliments. Du fait de l'emploi généralisé des pesticides, la plupart des populations humaines sont exposées de façon chronique à de faibles concentrations de ces substances par l'intermédiaire des aliments et de l'eau. Il est pratiquement impossible d'évaluer les conséquences éventuelles d'une telle exposition, car les quantités sont très faibles et le nombre de permutations et de combinaisons des composés très élevé. Mais comme certains d'entre



A gauche:
Océanographes
de l'AIEA faisant
des expériences sur
le comportement
des pesticides dans
un lagon tropical
d'Amérique centrale.
Ci-dessous: Abondance
des poissons à proximité
de l'île de Malpelo,
au large de la Colombie.
(Crédits: LEMM,
Alto Brando, Bogota).



eux, il est vrai à des niveaux d'exposition d'une tout autre ampleur, ont eu des effets chroniques chez certains animaux de laboratoire, on a quelques motifs d'inquiétude.

Une meilleure gestion de l'environnement

Bien qu'il soit nécessaire de protéger les cultures contre les maladies, les insectes et les plantes parasites, l'humanité ne peut survivre uniquement avec des animaux et des végétaux domestiqués. Le biote de l'environnement naturel compte probablement entre 5 et 10 millions d'espèces, qui remplissent des fonctions essentielles, telles que le recyclage des matières organiques et inorganiques, la stabilisation du sol, l'épuration des ressources hydriques, le maintien des flux énergétiques dans les écosystèmes, la pollinisation des cultures et de la végétation naturelle, et la stabilisation du climat. La plupart, sinon la totalité des espèces, sont donc indispensables au maintien de la qualité de l'environnement et de la vie sur la Terre. De plus, si l'utilisation inconsidérée des produits agrochimiques peut mettre en danger un grand nombre d'espèces et compromettre la conservation d'écosystèmes fonctionnels, elle peut aussi constituer une menace directe pour la santé publique. Il est donc urgent de faire preuve d'un plus grand discernement dans l'emploi de ces substances. L'empoisonnement aigu des personnes, si l'on excepte les suicides, touche surtout les travailleurs ruraux qui, dans la majorité des cas, ont subi une exposition à l'occasion du mélange ou de l'épandage de pesticides. Selon une estimation de l'Organisation mondiale de la santé (OMS), ces empoisonnements professionnels atteindraient le chiffre d'un million

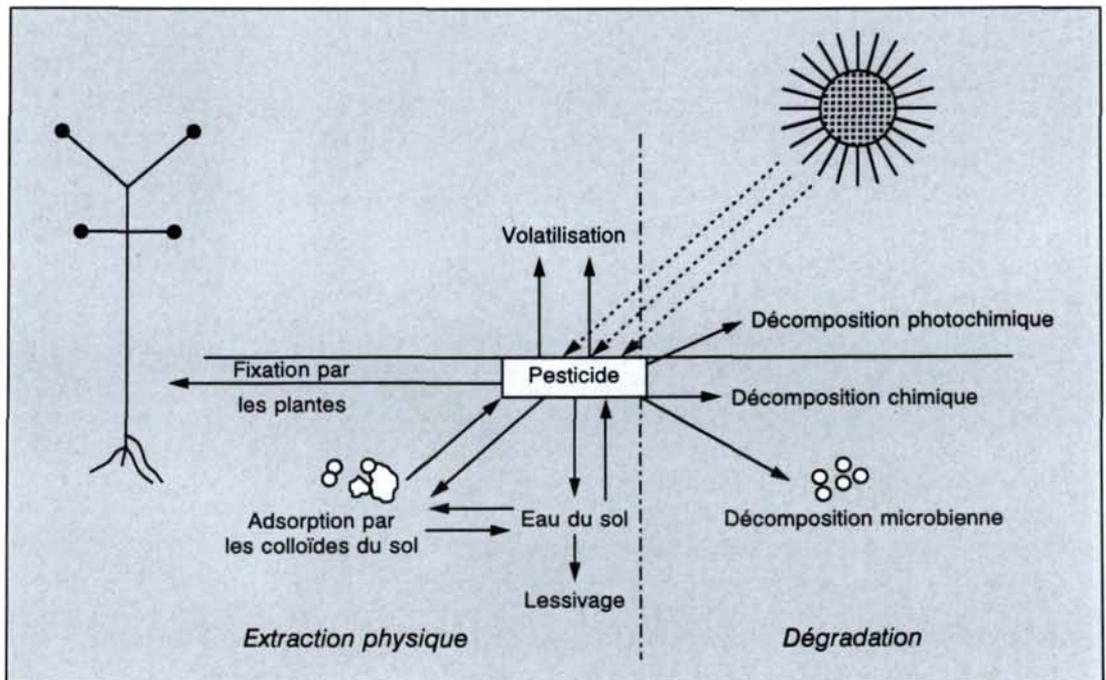
par an, et 20 000 d'entre eux seraient mortels. Nombre de ces décès pourraient être évités par un meilleur respect des règles de manipulation, mais cela suppose une meilleure information, des programmes de formation professionnelle, et une certaine pression sur les employeurs. A cet égard, des lois existent ou sont en préparation dans la plupart des pays. Elles comportent généralement des dispositions relatives à la surveillance des résidus de pesticides dans les aliments et au contrôle de l'emploi des pesticides en agriculture.

Le contrôle de l'utilisation devrait non seulement garantir l'innocuité des aliments, mais aussi la dispersion des résidus de pesticides dans l'environnement. Malheureusement, de nombreux pays en développement manquent des ressources nécessaires pour faire respecter les lois en vigueur, de sorte que ces objectifs, pour admirables qu'ils soient, ne sont encore atteints nulle part. Beaucoup de petits exploitants, stimulés par l'amélioration des rendements qui résulte de l'emploi des pesticides, appliquent ces derniers en quantités excessives, dans l'espoir fallacieux d'accroître encore leur production. Le résultat est que des quantités importantes de pesticides atteignent les fleuves et gagnent ainsi le milieu marin.

Les pesticides dans le milieu marin

Les pesticides de la première génération, introduits il y a plus de 40 ans, étaient des composés organochlorés, tels que le DDT, la dieldrine et le toxaphène. A l'époque, leur rémanence dans l'environnement était considérée comme un avantage mais, au regard des normes adoptées ultérieurement, elle est inacceptable, et l'on s'est donc détourné de

Processus agissant sur les produits chimiques organiques dans l'environnement



ces composés, dont de nombreux pays interdisent ou limitent sévèrement l'emploi. Ils ont été remplacés progressivement par des composés organophosphorés, tels que le parathion, le malathion, le chlorpyrifos, ainsi que les carbamates et les composés pyréthroïdes, dont on trouve une centaine dans le commerce.

En général, les composés organophosphorés sont plus toxiques pour les mammifères et les invertébrés que les composés organochlorés, mais ils sont moins longtemps actifs. Cela dit, chaque substance se comporte différemment. Bien que l'on sache que la rémanence dans l'environnement dépend des conditions ambiantes — telles que lumière, humidité, acidité et activité microbienne, qui contribuent toutes à la dégradation des composés —, on connaît souvent mal le rôle exact de ces facteurs et de leurs interactions. On sait aussi quels sont dans leurs grandes lignes les effets de ces substances sur les organismes autres que les organismes cibles, leur accumulation par le biote ou leur transfert vers les niveaux trophiques plus élevés de la chaîne alimentaire. Mais on ne peut prévoir avec certitude ce qui pourrait se passer dans tel ou tel cas particulier.

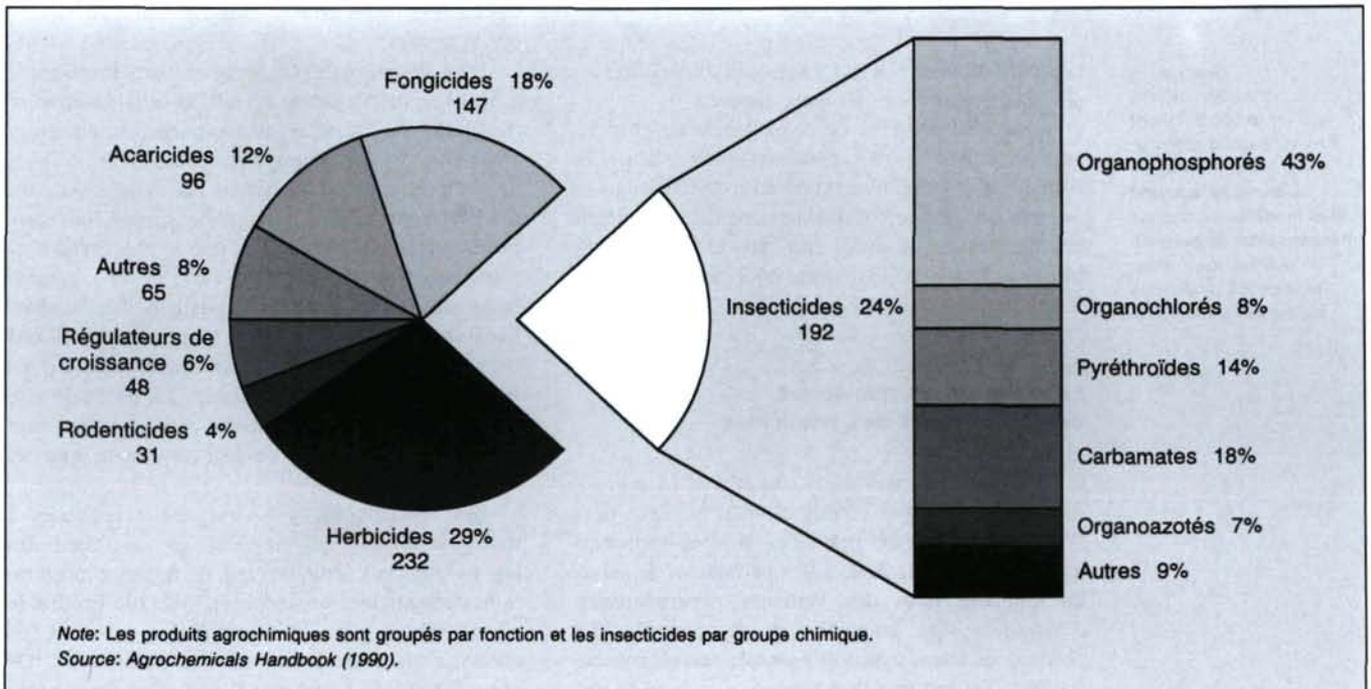
Certaines données indiquent que les composés organophosphorés persistent assez longtemps dans l'environnement pour atteindre le milieu marin à des concentrations suffisamment élevées pour avoir des répercussions sur la faune et la flore. Ils sont toxiques pour les invertébrés et les animaux aquatiques vertébrés à de très faibles concentrations (nanogramme à microgramme par litre). Les crustacés et les poissons sont particulièrement sensibles. On dispose de beaucoup moins de données sur le comportement des pesticides dans le milieu marin tropical que dans les régions tempérées. Les

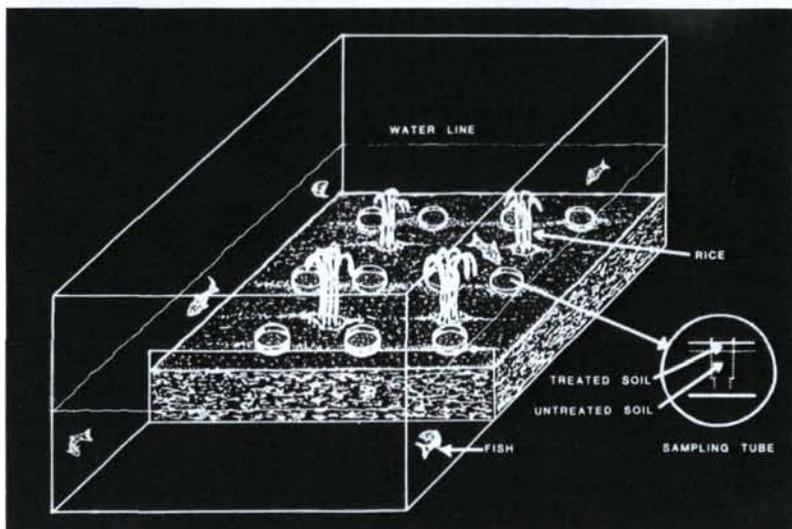
enquêtes préliminaires effectuées par le Laboratoire d'étude du milieu marin de l'AIEA (LEMM) dans les lagons côtiers de l'Amérique centrale indiquent la présence de fortes concentrations de DDT et de ses métabolites dans des sédiments et des organismes aquatiques. On a également constaté que des composés organophosphorés, comme le chlorpyrifos, étaient des contaminants très répandus dans ces lagons.

La présence de pesticides dans les zones côtières n'est pas vraiment une surprise, car les principales régions agricoles sont situées dans des plaines côtières et des vallées fluviales. On considère toutefois en général que les composés organophosphorés ont une faible rémanence, aussi leur présence dans des lagons est-elle inattendue. Or, on a signalé des destructions massives de poissons et de crustacés dans les écosystèmes d'estuaires et de lagons côtiers. Bien que les substances responsables n'aient pas toujours été clairement identifiées, on a suspecté les produits agrochimiques provenant des terrains agricoles voisins.

Les estuaires et les lagons côtiers sont des écosystèmes particulièrement riches et variés. Ce sont généralement des zones d'élevage des poissons côtiers et, par l'exportation de matières organiques dans la mer, ils jouent un rôle important dans la régulation de la productivité des zones côtières. Ils offrent également des conditions optimales pour la croissance des mollusques (huîtres, praires, moules), des crustacés et des poissons, et sont donc eux-mêmes d'importantes ressources halieutiques. Dans de nombreux pays tropicaux (Japon, Mexique, Vietnam), les lagons côtiers servent à l'élevage des crustacés et des huîtres et ont donc une importance économique. Il est donc urgent de se préoccuper de

Répartition des produits agrochimiques disponibles dans le commerce





Une rizière de plein champ est un environnement expérimental difficile, aussi les scientifiques utilisent-ils souvent des modèles — comme l'écosystème riz-poisson montré ici — pour étudier les pesticides au moyen d'isotopes.

la préservation de ces écosystèmes et d'améliorer les politiques de gestion des eaux côtières.

Il est indispensable de connaître le devenir des pesticides dans un environnement pour évaluer les risques qu'ils comportent et prendre des décisions en matière de gestion. Malheureusement, on manque cruellement de données sur les environnements tropicaux terrestres et marins pour pouvoir évaluer les effets potentiels des pesticides.

Les techniques nucléaires dans les études des pesticides

Les molécules marquées au carbone 14 fournissent depuis quelques années un outil précieux pour l'étude du devenir des pesticides dans les environnements terrestre et marin. Elles permettent de suivre un composé dans des systèmes expérimentaux, d'identifier sans ambiguïté et de quantifier les produits de transformation à de très faibles concentrations. Du fait que l'on mesure seulement le car-

bone radioactif, il n'est pas indispensable, pour de nombreuses applications, d'avoir des échantillons aussi purs que ceux que requièrent d'autres techniques, telles que la chromatographie. En conséquence, de nombreux échantillons peuvent être traités rapidement et mesurés avec un matériel à scintillation liquide courant peu coûteux.

Les programmes de la section des produits agrochimiques de la division mixte de l'AIEA et de la FAO (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture), de même que ceux de l'unité des produits agrochimiques des laboratoires de l'AIEA à Seibersdorf, ont toujours largement utilisé ces techniques pour étudier le comportement et le devenir des pesticides, ce qui implique l'analyse de processus biologiques, physiques et chimiques. Même l'étude de chaque processus dans des laboratoires isolés est rendue plus facile par l'emploi de composants marqués au carbone 14. Par exemple, la cinétique de la répartition entre les phases solide (adsorbée) et liquide (en solution) dans le sol peut être étudiée à court terme avec des composés non marqués, mais elle exige le marquage au carbone 14 si l'étude dure plusieurs jours, ce qui permet de vérifier s'il y a eu ou non décomposition.

Lorsque l'on essaie d'obtenir une vue d'ensemble de tous les processus, il est pratiquement indispensable de recourir aux isotopes. Il est clair que l'on n'utilisera pas de composés radiomarqués dans une rizière de plein champ. Mais, dans un modèle d'écosystème fermé, on peut employer sans risque des radio-isotopes pour estimer la distribution et la rémanence d'un pesticide dans des conditions contrôlées. Les résultats obtenus ne peuvent évidemment être extrapolés directement aux situations réelles, mais ils fournissent des indications sur les composés à rechercher et sur les endroits où l'on a des chances de les trouver dans des études ultérieures sur le terrain.

Dans un projet de recherche en cours mené par le LEMM en collaboration avec l'Université autonome du Mexique à Mazatlán, le comportement des pesticides dans les lagons tropicaux a été étudié à l'aide de ces techniques. Les résultats ont montré que, une fois introduits dans l'écosystème simulé, les composés organophosphorés tels que le chlorpyrifos se répartissent rapidement entre l'eau et les particules en suspension. La fraction du pesticide liée aux particules est stabilisée et persiste longtemps, tandis que celle qui est en solution est rapidement dégradée par hydrolyse et action microbienne. Le pesticide fixé par les matières en suspension et le sédiment peut être libéré lentement et devient disponible pour les organismes benthiques.

Les résultats obtenus dans des expériences à moyenne échelle qui simulent les conditions des lagons tropicaux indiquent que de faibles concentrations de pesticides organophosphorés (de l'ordre du microgramme par litre) entraînent la mort de quantités massives de crustacés et de poissons. De plus, il a été démontré que l'accumulation de pesti-

cides dans les tissus internes des mollusques, crustacés et poissons se produisait rapidement (entre quelques minutes et quelques heures), et atteignait des concentrations de 1000 à 10 000 fois supérieures à la concentration des pesticides dans les eaux ambiantes. On suppose que la dégradation rapide attendue sous l'effet de la température ambiante élevée, de la photolyse et de la biomasse microbienne élevée n'a pas eu lieu parce que la fixation par les particules sédimentaires et les matières organiques a protégé les pesticides.

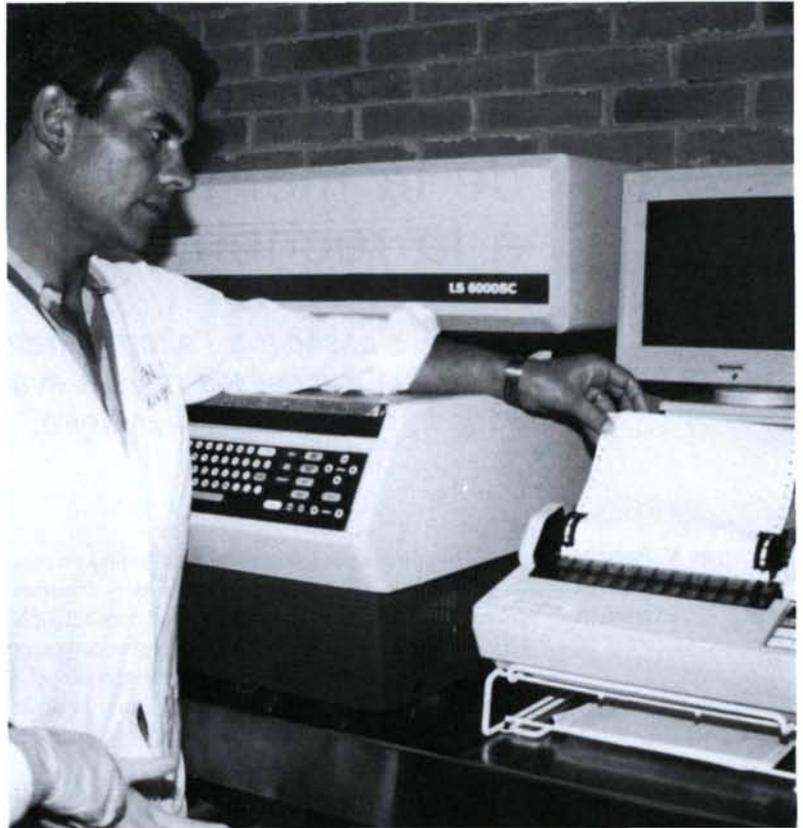
Signalons que l'on a ici un exemple de ce que l'on observe fréquemment dans les études sur les pesticides: le résultat peut être expliqué mais n'aurait pu être prévu. Dans le cas présent, l'adsorption (liaison) a ralenti la décomposition, sans doute en réduisant la concentration de la solution en pesticides, et par conséquent leur disponibilité pour les microorganismes et les réactions photochimiques. On s'attendrait toutefois que la densité de microorganismes soit plus élevée à proximité des surfaces colloïdales que dans la solution environnante. On sait également que certains sites d'adsorption peuvent catalyser les réactions de dégradation. Pour ces deux raisons, les vitesses de dégradation devraient augmenter. De nombreuses études ont été consacrées à l'effet de l'adsorption sur la rémanence des pesticides dans les sols. Dans certains cas, l'adsorption ralentit la dégradation, dans d'autres elle l'accélère, et dans d'autres encore elle n'a sur elle aucune influence. Il serait surprenant que les choses se passent différemment dans les systèmes marins, puisque ces observations peuvent s'expliquer à partir de mécanismes connus mais ne sont pas prévisibles dans l'état actuel des connaissances.

Les résultats du programme mené au Mexique montrent qu'il est nécessaire d'évaluer de façon plus approfondie la contamination des milieux marins tropicaux par les résidus de pesticides. Il est clair que, pour évaluer l'impact des pesticides dans ces écosystèmes, nous devons en savoir plus sur leur distribution, leur rémanence, et leur devenir, ainsi que sur les facteurs qui déterminent les divers processus.

Travaux de recherche futurs appuyés par l'AIEA

Pour mettre au point des études appropriées, l'AIEA est en train d'organiser un programme de recherche coordonné par l'intermédiaire de son laboratoire de Monaco et de la Division mixte FAO/AIEA. Ce programme, intitulé «La distribution, le devenir et les effets des pesticides dans le biotope de l'environnement tropical», reçoit un soutien financier de l'Agence suédoise pour le développement international. Il portera sur divers aspects du problème, à savoir:

- une étude des modes d'utilisation actuels des pesticides dans certaines zones;



- la mesure des concentrations de résidus dans le milieu marin;
- la décomposition et la transformation des pesticides radiomarqués dans des modèles d'écosystèmes, tant terrestres que marins;
- des recherches sur le partage des résidus de pesticides entre différents compartiments de l'environnement (eau, sédiments, matières en suspension, biote et atmosphère);
- des expériences dans des micro-écosystèmes sur l'accumulation et les effets de pesticides (radiomarqués) sur la faune et la flore de zones côtières; et
- la modélisation des informations obtenues et leur application au développement du concept de «gestion intégrée des zones côtières».

Participeront au programme une quinzaine d'Etats membres menant déjà ou mettant au point des travaux de recherche sur les pesticides. Les résultats de ce programme devraient contribuer à faire progresser nos connaissances de la contamination de l'environnement par des résidus de pesticides dans les régions côtières tropicales ainsi que l'évaluation de ses conséquences potentielles.

Des recommandations sur les moyens d'améliorer la gestion des écosystèmes sensibles des régions côtières tropicales seront formulées pour aider les Etats membres à prendre des mesures concrètes en vue de concilier les intérêts de l'agriculture et la préservation des ressources aquatiques.

Au Mexique, des océanographes de l'AIEA forment des chercheurs aux techniques des radiotraceurs.
(Crédit: AIEA-LEMM)