

RÉSULTATS D'UN PROGRAMME DE RECHERCHE INTERNATIONAL LA DETECTION DES PESTICIDES SOUS LES TROPIQUES

PAR F. P. CARVALHO, D. D. NHAN, C. ZHONG, T. TAVARES & S. KLAINE

Depuis les années 40, l'utilisation de pesticides n'a cessé d'augmenter d'environ 11% par an pour atteindre cinq millions de tonnes en 1995. Les pesticides et les engrais jouent un rôle essentiel dans l'agriculture et servent à accroître la production d'aliments.

Ce tableau, toutefois, évolue progressivement. L'utilisation de produits agrochimiques, essentiellement dans les pays développés, diminue tandis que l'agriculture biologique se développe. Dans la plupart des pays, cependant, les produits agrochimiques resteront à moyen terme un élément essentiel des pratiques agricoles.

Les pesticides, en particulier les insecticides et les fongicides, sont plus fortement utilisés dans les cultures de rapport tropicales – banane, café, coton et légumes – que dans les cultures des régions tempérées. Le volume de pesticides utilisé, par exemple, dans les bananeraies du Costa Rica atteint 45 kg (ingrédient actif) par hectare, contre 10,8 kg en moyenne au Japon.

Des experts ont estimé que seule une petite partie des pesticides appliqués – moins de 0,1% – atteint les espèces d'insectes visées; le reste passe dans l'environnement, contaminant éventuellement le sol, l'eau et le biote. Il est donc essentiel de caractériser le devenir et la toxicité hors-cible de ces pesticides si l'on veut évaluer avec fiabilité les risques liés à leur utilisation.

Les champs agricoles sont généralement situés dans des plaines côtières et dans des vallées fluviales; il n'est donc pas surprenant que les fleuves qui les parcourent reçoivent des ruissellement agricoles et transportent des résidus vers les estuaires et les mers littorales. On estime qu'aux États-Unis, par exemple, le Mississippi a probablement transporté, en 1989, 430 tonnes d'atrazine des plantations de maïs et de soja du Midwest vers le Golfe du Mexique.

L'impact des résidus de pesticides sur l'environnement et sur la santé humaine suscite de grandes inquiétudes. Des études récentes sur le comportement œstrogène des DDT et des PCB chez les humains donnent à penser que ces éléments interviennent dans le cancer du sein. De surcroît, la prise de conscience croissante de la persistance des polluants organiques (pesticides et produits chimiques organiques industriels) dans l'environnement a récemment amené des gouvernements à signer une Convention internationale sur les polluants organiques persistants interdisant progressivement l'utilisation de plusieurs substances nocives y compris le DDT, les PCB et d'autres hydrocarbures chlorés. Quoi

qu'il en soit, des centaines de produits chimiques anciens et nouveaux continueront d'être utilisés dans le monde pour protéger les récoltes. Il est donc urgent de concevoir des stratégies facilitant la coexistence d'une agriculture productive, saine et économiquement viable avec la protection des ressources naturelles.

Pour ce faire, il est nécessaire d'effectuer davantage de recherches sur les écosystèmes soumis à une charge importante de pesticides. La plupart des études concernant le cycle, le devenir et les effets des pesticides dans l'environnement ont été menées sous des climats tempérés (Amérique du Nord et Europe occidentale). On dispose de beaucoup moins d'informations sur le comportement de ces produits dans les écosystèmes tropicaux.

Pour aider à combler cette lacune, l'AIEA a mis sur pied un programme de recherche coordonné — financé par l'Agence suédoise pour le développement international — sur la « répartition, le devenir et les effets des pesticides sur le biote marin tropical ». Le présent article expose les résultats de ce programme, y compris ceux obtenus au moyen d'études de cas nationales.

M. Carvalho est directeur du Laboratoire d'étude du milieu marin du LEM (Monaco); M. Nhan est chercheur à l'Institut des sciences et techniques nucléaires d'Hanoï (Viêt-nam); M. Zhong est professeur à l'Université Zhongshan (Sun Yat-Sen) de Guangzhou (Chine); Mme Tavares est professeur à l'Université fédérale de Bahia (Brésil); et M. Klaine est professeur à l'Université de Clemson (Caroline du Sud, États-Unis).

DES RADIO-ISOTOPES AU SERVICE DU PROGRÈS

Dix-huit laboratoires répartis dans dix-sept pays – Bangladesh, Brésil, Chine, Colombie, Costa Rica, Cuba, Équateur, Inde, Jamaïque, Kenya, Malaisie, Mexique, Philippines, Espagne, Pays-Bas, États-Unis et Viêt-nam – ont pris part au programme de recherche coordonné de l'AIEA consacré au devenir et aux effets des pesticides dans les milieux tropicaux.

Parmi les outils de recherche les moins onéreux et les plus efficaces utilisés par les laboratoires figuraient des radiomarqueurs : des pesticides marqués à l'aide de radio-isotopes sont utilisés dans des systèmes types qui aident les chercheurs à étudier, par exemple, la persistance, les voies de décomposition et le transfert des pesticides dans les chaînes alimentaires marines. De nombreux échantillons peuvent ainsi être rapidement analysés et mesurés à l'aide de compteurs à scintillation liquide standard peu onéreux. Plusieurs laboratoires participants ont utilisé cette méthode pour obtenir des données auparavant inexistantes sur le comportement des pesticides dans les milieux marins tropicaux.

Des recherches faisant appel à des composés marqués au carbone 14 ont été menées dans douze laboratoires, et des analyses par chromatographie en phase gazeuse sont maintenant effectuées dans quatorze laboratoires participants. La plupart des laboratoires ont adopté des procédures d'assurance de la qualité (participation régulière à des exercices de comparaison, utilisation de matières de référence certifiées).



Les résultats des recherches ont été présentés lors de divers forums scientifiques, y compris le Colloque international sur le comportement dans l'environnement des produits chimiques de protection des cultures, organisé conjointement par l'AIEA et par la FAO en 1996.

Lors du Colloque international sur la pollution marine qui se tiendra en octobre 1998 à Monaco, les participants présenteront quatorze articles scientifiques décrivant leurs travaux (*pour de plus amples informations sur le Colloque, voir encadré pages 4 et 5*).

Photo: des analyses ont été effectuées au laboratoire de chimie de l'Université de Malaya (Malaisie). En juin 1995, l'Université a accueilli une réunion du programme de recherche coordonné.



LE PROGRAMME: OBJECTIFS ET PARTICIPATION

Le programme de recherche coordonné avait pour objectifs techniques de mesurer les niveaux actuels de résidus de pesticides dans les environnements côtiers, de caractériser le cycle et le devenir des pesticides au moyen de composés radiomarqués et de techniques nucléaires, d'évaluer l'impact des résidus sur le biote marin, d'évaluer le risque lié aux résidus de pesticides dans les écosystèmes tropicaux côtiers, et de recommander des mesures tendant à protéger le milieu marin tropical.

De nombreuses demandes de participation et d'informations attestant de la pertinence du programme et de la volonté des pays d'agir sur des problèmes écologiques communs ont été reçues par l'AIEA. Dix-huit laboratoires répartis dans dix-sept États membres de l'AIEA ont accepté de participer au programme sous la direction du Laboratoire de l'environnement marin (LEM) de l'AIEA (Monaco) (voir encadré page 25).

La première réunion de coordination des recherches a eu lieu au LEM en juin 1994. On y a examiné l'usage qui était fait des pesticides dans les pays et l'ampleur de la contamination par les résidus, et on a recensé les composés à étudier dans le cadre des recherches ainsi que les méthodes à appliquer pour atteindre les objectifs du programme. On a en outre défini les besoins des laboratoires participants en matériel et en formation afin d'organiser l'appui technique de l'AIEA auxdits laboratoires. Depuis, des réunions de coordination sont organisées chaque année pour présenter et discuter les résultats obtenus

UN PROBLÈME PLANÉTAIRE

Des produits chimiques sont utilisés dans l'agriculture partout dans le monde. Les quantités les plus importantes d'herbicides sont utilisées en Amérique du Nord, en Europe occidentale et en Asie, tandis que les insecticides sont essentiellement utilisés en Asie orientale, en Amérique du Nord et en Amérique latine. Environ 50% des insecticides utilisés dans le monde le sont dans les pays en développement — notamment dans les régions tropicales — essentiellement pour lutter contre les insectes ravageurs et domestiques. On prévoit, dans les années à venir, une augmentation généralisée de l'utilisation des pesticides en Asie alors que cette utilisation devrait continuer de décroître en Europe occidentale.

Photo: Épandage d'herbicides dans des rizières au Viêt-nam
(Crédit: Carvalho/LEM)



dans chaque pays. Entre les réunions, une liaison et un échange permanent de données entre les participants sont assurés au moyen de circulaires périodiques.

D'importantes activités ont été mises en œuvre pour répondre à des besoins communs ou atteindre des objectifs communs. On a notamment organisé des stages (conférences) sur la chimie des pesticides, la toxicologie aquatique et l'évaluation des risques écologiques; des ateliers

de formation à l'analyse des pesticides (Costa Rica et Malaisie) à l'intention des participants au programme; et des exercices de comparaison destinés à évaluer l'exactitude des résultats des laboratoires et à encourager les progrès en matière d'assurance de la qualité des données dans l'analyse des pesticides organochlorés et des composés radiomarqués. Dans le cadre de ces exercices, on a utilisé comme échantillons de test des homogénats d'échantillons marins de matrice appropriée (sédiments, algues marines et moules).

RÉSULTATS DES ÉTUDES DE CAS

Les instituts participant au programme ont tous mené des études de terrain afin de surveiller les résidus de pesticides dans les écosystèmes côtiers de leurs pays respectifs. Divers écosystèmes ont été étudiés : la Baie de Manille (Philippines), le delta de la rivière Zhujiang (Chine), la Baie de Cartagène (Colombie), plusieurs bassins versants de Kingston Harbour (Jamaïque), la Baie de Todos Santos (Brésil), la vallée et le delta du fleuve Rouge (Viêt-nam) et le littoral de l'océan Indien au Kenya.

Les résidus de pesticides identifiés dans les environnements côtiers de ces régions correspondent, comme escompté, à l'usage local des pesticides. Néanmoins, des composés volatils transportés par les processus atmosphériques et redéposés dans le monde ont également été mesurés dans des régions éloignées de leur zone d'utilisation initiale. On trouvera ci-après quelques exemples des résultats obtenus:

Recherches menées au Brésil.

L'analyse de sédiments et de mollusques prélevés en plusieurs

endroits de la Baie de Todos Santos a révélé dans les tissus de mollusques des résidus de DDT allant de 0,24 à 44 nanogrammes par gramme (poids humide). La consommation régulière de ces mollusques comestibles, notamment par les pêcheurs, se solde par une ingestion quotidienne de DDT comprise entre 75 et 589 nanogrammes. Ces niveaux, s'ils ne sont pas alarmants, ont été jugés élevés. Qui plus est, par comparaison avec les mesures effectuées dix ans auparavant dans la baie, on note une augmentation des concentrations de DDT, et ce malgré l'interdiction du DDT par le Brésil en 1976. Cette augmentation donne à penser que les agriculteurs de la région continuent malgré tout d'utiliser ce produit.

Le DDT n'a pas été le seul pesticide organochloré détecté. Les analyses d'HCB, d'aldrine, de dieldrine et d'endrine dans les mêmes échantillons ont montré que ces composés étaient présents sur plusieurs sites, bien qu'à des niveaux généralement inférieurs à un nanogramme par gramme.

La participation au programme a considérablement renforcé l'aptitude des laboratoires à mesurer les résidus de pesticides dans les échantillons marins (résidus de DDT dans les moules, par exemple).

Recherches menées en Chine.

L'étude de l'hexachlorobenzène et du DDT dans le delta de la rivière Zhujiang a été jugée très intéressante. En effet, la Chine, grand producteur mondial de riz et de blé, a essentiellement utilisé, dans les années 50 et 60, du DDT, de l'hexachlorocyclohexane et de l'hexachlorobenzène pour lutter contre les insectes ravageurs. En 1990, la consommation totale de pesticides y a

atteint 2 x 10⁶ tonnes d'ingrédient actif (environ un tiers du volume mondial). Officiellement, le DDT et l'hexachlorobenzène ne sont plus utilisés dans l'agriculture.

La rivière Zhujiang draine une large zone fertile, transportant potentiellement des résidus de pesticides dans la mer de Chine. Les recherches menées dans le cadre du programme n'ont révélé qu'un faible transport de résidus par l'eau de la rivière, ce qui est cohérent avec l'interdiction actuelle de ces pesticides.

Néanmoins, les concentrations de DDT dans les sédiments de fond et dans les chaînes alimentaires marines (phytoplanctons, moules et oiseaux marins) étaient élevées, atteignant respectivement 1,3 et 2,1 microgrammes par gramme (poids humide) dans les tissus de moules et d'oiseaux marins. Ces concentrations élevées s'expliquent par l'utilisation passée de ces composés dans la région et confirment la très longue persistance du DDT dans l'environnement.

Recherches menées au Viêt-nam. Les études menées dans le delta du fleuve Rouge ont conclu que des pesticides cyclodiens tels que l'aldrine, la dieldrine et l'endrine sont pratiquement absents de l'environnement aquatique de cette région, ce qui donne à penser que ces composés persistants, autrefois très populaires en Amérique et en Europe et maintenant totalement interdits, n'ont probablement jamais été utilisés au Viêt-nam. En revanche, du DDT a été détecté dans tous les échantillons. De surcroît, la concentration de DDT (13 microgrammes par gramme de poids lipidique) dans des carpes capturées près de rizières était nettement supérieure aux

plafonds autorisés dans les aliments visés par les normes européennes.

L'utilisation du DDT étant interdite au Viêt-nam, ces observations pourront inciter les autorités compétentes à renforcer leur contrôle des pesticides. Par ailleurs, la densité de la population de la vallée du fleuve Rouge et les multiples réutilisations de son eau incitent à procéder à une évaluation approfondie des problèmes de pollution. La lutte contre ces problèmes devrait passer par une gestion intégrée des bassins versants permettant d'améliorer la qualité et la protection de l'eau.

Recherches menées au Mexique.

La recherche de résidus de pesticides dans les lagons côtiers de l'État de Sinaloa a révélé la présence de résidus de DDT, d'aldrine, de dieldrine et de composés organophosphorés (chlorpyrifos et parathion). Cette découverte a constitué une surprise relative. On pense généralement, en effet, que ces composés se décomposent rapidement et ne persistent donc pas dans l'environnement. Il a été estimé que ces résidus provenant de plantations de canne à sucre et d'exploitations horticoles de la vallée du fleuve Culiacan constituaient une menace pour le développement de l'élevage des crevettes au Sinaloa. Il a donc été recommandé aux autorités régionales et aux agriculteurs de surveiller les ruissellements agricoles et les rejets d'eaux usées.

Recherches menées en Jamaïque. L'étude a porté sur la contamination des cours d'eaux montagneux par des écoulements provenant de plantations de café. L'endosulfan et les pesticides organophosphorés contaminent de façon inquiétante les ressources en eau d'alimentation



et le biote d'eau douce. Les rejets des cours d'eau dans l'environnement côtier contaminent, certes faiblement, les écosystèmes marins. Néanmoins, il semble urgent, si l'on veut protéger les aquifères de la contamination, de contrôler rigoureusement l'usage qui est fait des pesticides sur les versants montagneux.

Recherches menées au Costa Rica. Un programme a été mis en œuvre pour surveiller la contamination par les résidus de pesticides provenant de bananeraies situées sur deux bassins versants, l'une sur la côte Caraïbe (Tortuguero-Parismina), l'autre sur la côte Pacifique (estuaire du fleuve Tempisque). Le Costa Rica importe chaque année quelque 5000 tonnes de pesticides (ingrédient actif) – dont 56% de fongicides, 30% d'herbicides et 12% d'insecticides/nématicides – presque tous utilisés dans les bananeraies. Les fortes précipitations et l'utilisation fréquente de produits agrochimiques entraînent l'écoulement de



résidus vers les principaux fleuves du pays, qui traversent des zones protégées (réserves naturelles) dans les deux régions côtières. Des résidus d'édifénphos, de chlorpyrifos, de diazinon, d'amétryne, de carbofurane et d'éthoprofos ont été détectés soit dans l'eau, soit dans les clams prélevés sur la côte. Il reste à évaluer, cependant, l'impact de ces résidus sur les écosystèmes.

Recherches menées au Nicaragua. Une étude a été menée par l'Université du Nicaragua en collaboration avec le LEM pour surveiller la contamination des principaux lagons de la côte Pacifique par les pesticides. Pendant des décennies, l'essentiel de l'activité agricole du pays et de l'utilisation de pesticides a en effet eu lieu dans cette région.

L'analyse d'un grand nombre de pesticides chlorés persistants a révélé, dans plusieurs lagons, des niveaux qui étaient faibles. Les niveaux, cependant, étaient extrêmement élevés – en particulier pour le toxaphène et les DDT – dans les lagons côtiers des régions cotonnières de Chinandega et Leon. Là, les concentrations de toxaphène atteignaient 6,9 microgrammes par gramme (poids sec) dans les sédiments et 1,6 microgramme par gramme (poids sec) dans les tissus mous des clams.

Dans cette région, le toxaphène et le DDT ont été utilisés dans la culture du coton pendant plusieurs décennies. Bien que leur utilisation ait été interrompue au début des années 90, l'accumulation de ces composés dans les sols et dans les sédiments des lagons est très élevée et ils persistent très longtemps dans l'environnement.

Les résultats de cette étude ont été présentés à Managua en novembre 1997, lors d'une

Conférence nationale sur les pesticides qui a précédé l'approbation longuement attendue de la loi nationale sur les pesticides. Une gestion intégrée rationnelle et des mesures visant à réduire la contamination de la zone côtière peuvent maintenant être mises en œuvre par les autorités nicaraguayennes.

Autres études. Des études analogues visant à évaluer la contamination de l'environnement par les résidus de pesticides sont menées dans d'autres zones côtières tropicales au Kenya, en Inde, au Bangladesh et en Équateur. D'après les résultats obtenus à ce jour, les pesticides organochlorés persistants sont présents partout, heureusement parfois sous forme de traces seulement. Les pesticides organophosphorés, lorsqu'ils sont détectés, semblent généralement présents en concentrations plus faibles que les composés organochlorés.

DÉTECTION PAR PISTAGE RADIOACTIF

Des expériences ont été menées à l'aide de composés marqués au carbone 14 et de compteurs à scintillation liquide pour étudier le comportement des pesticides dans le milieu aquatique. Elles ont porté sur certains composés – DDT, endosulfan, lindane, chlorpyrifos et parathion – détectés dans les environnements côtiers tropicaux.

Ont également été étudiés plusieurs aspects du devenir, de la persistance et de la

Photo: Ci-dessus, compteur à scintillation liquide - équipement de laboratoire qu'utilisent les chercheurs pour étudier les pesticides au Viêt-nam. À gauche, récolte de bananes au Costa Rica (Crédit : ISTN/VINATOM)

bioaccumulation de ces pesticides dans les eaux marines. Des études ont été menées sur des microcosmes et écosystèmes de laboratoire en appliquant les mêmes méthodes dans tous les établissements participant au programme.

Le transport, la dispersion et, enfin, l'impact biologique des pesticides dans les lagons dépendent de la persistance de ces produits dans les conditions tropicales, ainsi que de leur bioaccumulation et de leur biodégradation. On estime généralement que l'ensoleillement et les températures élevées qui prévalent sous les tropiques accélèrent la décomposition de ces composés. Or, les résultats des expériences préliminaires indiquent que la photolyse joue, par rapport à l'hydrolyse chimique, un rôle minime dans la décomposition de ces produits.

D'après ces résultats, la demi-vie des pesticides, dissous à 32°, s'échelonne de 1,4 à 10 jours pour le chlorpyrifos, de 9 à 46 jours pour le parathion et de 130 à 155 jours pour le DDT, en fonction de la salinité de l'eau.

Des expériences effectuées sur des systèmes sédiments-eau ont montré que la demi-vie des pesticides sorbés sur les sédiments de lagons était 10 à 100 fois plus longue que celle des mêmes composés dans les eaux superficielles, et ce malgré la présence dans les sédiments d'une biomasse microbienne plus importante que dans l'eau. Il est donc possible que la sorption rapide des pesticides sur les particules de sédiments accroisse leur persistance. Les réservoirs les plus importants seront probablement observés dans les sédiments de lagons recevant des écoulements de champs voisins.

Plusieurs instituts participant au programme au Bangladesh, en Chine, en Inde, aux Philippines, au Viêt-nam, en Malaisie, en Jamaïque et au Mexique ont mené des expériences analogues. Ils ont étudié le devenir du DDT et du chlorpyrifos dans des aquariums simulant les conditions du milieu marin tropical en utilisant des espèces locales de biote marin. On a observé que l'accumulation des pesticides présents dans l'eau par les moules, les clams, les crevettes et les poissons était très rapide et se produisait en quelques minutes à quelques heures. De surcroît, le facteur de concentration biologique de composés lipophiles tels que le DDT et les métabolites de DDT est généralement très élevé.

Les laboratoires ont accompli des progrès considérables dans la recherche de pesticides grâce à l'utilisation de radiomarqueurs (voir encadré page 25). Ils ont notamment mis au point des systèmes expérimentaux miniaturisés permettant d'étudier la décomposition et la volatilisation des composés. Ils ont également observé que la persistance et la bioaccumulation des pesticides dans le milieu marin étaient liées à la configuration des molécules et à la teneur en chlore.

Les résultats expérimentaux obtenus à l'aide de composés radiomarqués semblent prouver que des composés organochlorés tels que le DDT se décomposent très lentement dans l'environnement. D'autre part, certains composés organophosphorés peuvent survivre suffisamment longtemps pour se disperser dans les estuaires et les milieux côtiers et affecter le biote aquatique. Ces composés,

cependant, se décomposent généralement bien plus rapidement dans le milieu marin que les composés organochlorés.

IMPACT SUR LES ESPECES MARINES

Plusieurs instituts des Philippines, de Jamaïque, du Costa Rica et du Mexique mènent des études de toxicité sur les espèces marines tropicales. Leur but est d'évaluer la sensibilité d'espèces tropicales communes — Tilapia et crevettes d'élevage, par exemple — susceptibles d'être exposées à des résidus dans des écosystèmes tropicaux.

L'un des traits communs des lagons côtiers tropicaux, qui sont entourés de mangroves, est la concentration élevée de substances humiques. Ces substances sont formées par la décomposition progressive des feuilles tombant des arbres des mangroves. Du fait de l'hydrophobicité des composés organochlorés et organophosphorés, il est possible que l'association de ces pesticides avec des substances humiques sous forme de particules ou dissoutes modifie le devenir global des résidus et leur biodisponibilité.

Cette hypothèse a été testée sur des moules exposées à des pesticides dissous dans l'eau de mer, soit sans substances humiques, soit avec des substances humiques sous forme de particules contenant déjà des pesticides fixés. On a observé que l'accumulation par les moules de pesticides dissous dans l'eau augmentait rapidement pendant 12 heures, puis plus lentement ensuite. Des pesticides fixés par les substances humiques s'étaient également accumulés dans le tissu des moules, mais dans une moindre mesure qu'à partir de l'eau.

Il semble donc possible qu'une fixation antérieure des pesticides par les substances humiques réduise la bioaccumulation de ces composés par la faune des lagons. Des recherches complémentaires seront cependant nécessaires pour élucider les mécanismes exacts qui régissent la répartition, le devenir et, partant, les effets des résidus de pesticides dans les lagons tropicaux.

ÉVALUATION DES RISQUES ET STRATEGIES

L'un des objectifs globaux du programme de recherche coordonné consiste à caractériser le risque encouru tant par les humains que par les écosystèmes marins côtiers et de proposer des stratégies tendant, à l'avenir, à réduire ce risque (s'il est actuellement inacceptable).

Les études de cas menées dans le cadre du programme ont produit suffisamment de données sur les résidus de pesticides et sur la toxicité pour que l'on puisse commencer à évaluer le risque écologique dans certains écosystèmes. Dans les estuaires ou lagons côtiers recevant des effluents agricoles, notamment, les résidus de pesticides dans les sédiments et dans le biote approchent des niveaux hautement toxiques. Le plus souvent, cependant, ces niveaux sont inférieurs aux valeurs létales et ne représentent un problème potentiel que pour la chaîne alimentaire.

Par coïncidence, ces écosystèmes sont un lieu idéal pour l'élevage des poissons, des crevettes et des huîtres. Les résidus peuvent donc parvenir, par l'intermédiaire des industries aquacoles, jusqu'à la population générale. En outre, ces résidus présentent un risque

mesurable pour la stabilité de l'écosystème de ces régions. Cette instabilité pourrait résulter de la disparition d'une espèce ou d'un niveau trophique critique ou d'une détérioration de la qualité générale de l'eau (oxygène dissous) causée par la décomposition microbienne des contaminants. Pour protéger ces systèmes et les ressources qu'ils abritent, il faudrait mettre en œuvre, dans les zones côtières, des plans de gestion intégrée

conscience de la nécessité de réduire la contamination de l'environnement par les polluants organiques persistants.

Il est prévu de procéder à une évaluation plus complète du risque écologique lié aux bassins versants. On mettrait en parallèle, pour établir des relations de cause à effet, les données existantes concernant les résidus de pesticides et la toxicité et celles relatives à l'occupation des sols. On

pourrait ainsi élaborer des stratégies de gestion des ressources terrestres et aquatiques assurant la stabilité des écosystèmes et obtenir des informations utiles à l'agriculture, à l'aquaculture, au développement industriel, aux loisirs et aux activités domestiques.

Il restera à rechercher et à tester des solutions pratiques permettant de traiter les eaux usées

contaminées et les ruissellements de surface provenant des exploitations agricoles. Des solutions provisoires ont parfois été proposées, comme l'utilisation de terres humides naturelles ou construites autour d'exploitations agricoles pour extraire les résidus de l'eau. Des propositions de ce type pourraient, en dernier ressort, être testées à titre pilote sous les tropiques, par exemple autour de bananeraies. Il s'agirait là d'une continuation logique des travaux déjà menés par les laboratoires du monde entier grâce à ce programme parrainé par l'AIEA. □



tendant à harmoniser les intérêts des agriculteurs, des aquaculteurs et des pêcheurs.

Le programme de recherche coordonné a facilité l'évaluation de la contamination de zones côtières clés par les pesticides. On a en outre obtenu, sur le cycle des pesticides, des données expérimentales permettant de mieux comprendre, d'une part, l'impact et le devenir des résidus dans les milieux côtiers tropicaux et, d'autre part, la mise en œuvre de stratégies de gestion de l'environnement.

Parmi les autres avantages immédiats du programme pour les pays participants, on peut citer une meilleure aptitude à mesurer les résidus de pesticides dans l'environnement et à effectuer des recherches sur le cycle des pesticides dans les régions tropicales. Globalement, le programme a fait prendre

Photo: Pêche dans la baie de Manille (Philippines).