

L'atome en agriculture: techniques nucléaires au service de la recherche sur les pesticides «retard»

La FAO et l'AIEA étudient en collaboration des pesticides plus efficaces, plus sûrs et moins dangereux pour l'environnement

par Manzoor Hussain

Pour lutter contre les organismes nuisibles aux cultures, on n'a cessé d'améliorer l'efficacité des pesticides. Or, ces produits n'ont pas toujours l'effet souhaité, car on n'est jamais certain d'appliquer la quantité optimale au moment voulu.

Lorsqu'un pesticide est introduit dans l'environnement, il n'atteint sa cible que dans une faible proportion. Sa déperdition est due à des facteurs physiques, qui l'écartent de son objectif, et à sa décomposition chimique. Physiquement, il se perd par évaporation, par enlèvement des surfaces — animal, plante ou sol — sur lesquelles il a été déposé, ou encore par liaison avec le sol ou par lessivage. Chimiquement, il peut se décomposer par photodégradation et par hydrolyse ou par l'action de micro-organismes. Il en résulte que certains pesticides sont rapidement décomposés tandis que d'autres, plus persistants, peuvent être emportés loin de leur cible et provoquer des effets secondaires nocifs ou contaminer l'environnement.

A mesure que le public prend conscience des risques que les pesticides persistants présentent pour la santé de l'homme et l'environnement, on tend à retirer progressivement ces produits du marché pour les remplacer par de nouveaux composés moins rémanents mais plus sélectifs. Le prix de revient de l'étude d'un produit nouveau a augmenté, et peut aujourd'hui atteindre et même dépasser 20 millions de dollars. Cette dépense se répercute naturellement sur le consommateur et, comme les pesticides moins persistants doivent être appliqués plus fréquemment, le coût de leur utilisation peut devenir prohibitif, en particulier dans les pays en développement.

Pesticides retard

Conscients de ce problème de prix et des limitations que comporte la mise au point de nouveaux produits, l'industrie des pesticides et ses spécialistes ont choisi une autre voie consistant à améliorer le comportement du pesticide après son application, qu'il s'agisse d'un produit ancien ou plus récent. Un moyen efficace de réduire la dispersion dans l'environnement est offert par la technique du retard, qui consiste à élaborer une préparation dans laquelle le pesticide est combiné avec un excipient (généralement une matrice polymérique) qui a la propriété de libérer progressivement l'agent actif sur sa cible pendant un laps de temps déterminé.

Cette libération contrôlée d'un agent toxique à partir d'un substrat biodégradable n'est pas une nouveauté, car on rencontre le phénomène dans la nature. Parmi les végétaux évolués, nombreux sont ceux qui se sont dotés d'un moyen leur permettant de combattre la végétation adventice présente dans leur périmètre immédiat, selon un processus d'allélopathie. Un exemple: l'absence de végétation autour des buissons d'airelles des marais, après une montée des eaux, est due, semble-t-il, à des substances herbicides secrétées par les feuilles et déposées à la surface du sol après lessivage. Le processus naturel en jeu fournit les glucosides non actifs de la substance phytotoxique. Il faut donc qu'il y ait ensuite dégradation hydrolytique pour que l'effet herbicide soit observé. Cet exemple montre comment la nature exploite un système retard pour maintenir des substances chimiques phytotoxiques à certaines concentrations.

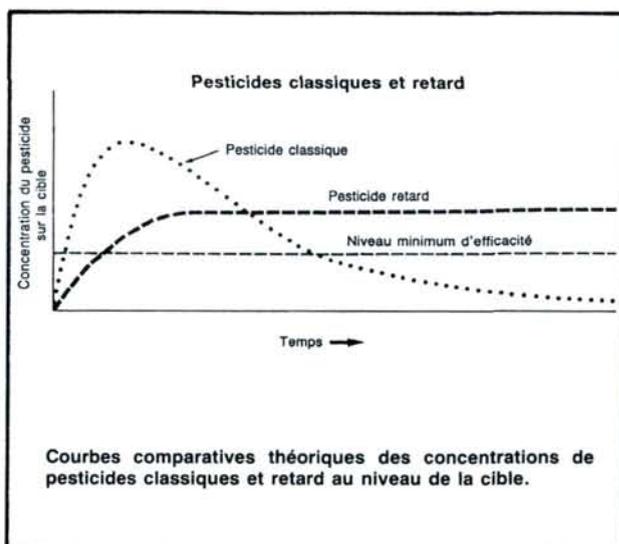
Au cours des 30 dernières années, l'industrie pharmaceutique a mis au point une application de ce principe à des préparations de substances biologiquement actives pour en assurer l'innocuité et l'efficacité.

Cette même technique permet d'améliorer l'efficacité des pesticides en prévenant leur dispersion dans l'en-

M. Hussain est chef de l'Unité d'agrochimie au Laboratoire de Seibersdorf, près de Vienne.

vironnement. Au lieu de se perdre, le pesticide est progressivement libéré par la préparation jusqu'à ce qu'un certain équilibre s'établisse (voir le graphique). De cette façon, le pesticide atteint sa cible à un niveau efficace constant pendant un temps prédéterminé. La préparation doit pouvoir conserver son efficacité pendant toute la période de croissance des végétaux traités et ne pas continuer d'agir sur la récolte suivante à des niveaux inacceptables. Dans le cas d'un pesticide classique, l'application se fait d'un coup pour obtenir une concentration supérieure à la valeur optimale nécessaire. Du fait de la dispersion dans l'environnement, cette concentration diminue rapidement et tombe au-dessous du niveau efficace minimal. Pour compenser, il faut répéter les applications.

Le pesticide peut être physiquement retenu dans une matrice inerte en polymère, par exemple, ou peut lui être chimiquement lié, et se libère de sa préparation par diffusion, érosion, hydratation, hydrolyse, biodégradation.



Préparations de pesticides retard

Ces préparations se font selon quatre formules principales:

Rétention par une membrane de polymère. Le produit se présente sous forme de microcapsules et de microplaquettes.

- **Microcapsules.** Elles se prêtent à la pulvérisation, et leur granulométrie se situe généralement entre 5 et 50 micromètres. La membrane de polymère renferme le pesticide à l'état liquide (1).
- **Microplaquettes.** L'agent actif est retenu entre deux lamelles protectrices (2).

Incorporation du pesticide dans une matrice. La formule consiste à disperser ou dissoudre le pesticide dans le polymère. Cette matrice peut être du caoutchouc, du chlorure de polyvinyle, un mélange de gypse et de cire, du polyester avec résines acryliques, de l'acétate de polyvinyle, de la cellulose, de l'amidon ou des gels (alginate et lignine) (3).

Pesticides liés par covalence. En se fractionnant (par hydrolyse), le polymère libère le pesticide. Lorsque le pesticide contient des monomères, il peut aussi être polymérisé à titre complémentaire (4).

Pesticide granulé enrobé. On utilise des granules d'argile ou autre substance minérale d'environ 1 mm de diamètre, qui sont ensuite imprégnés de pesticide et

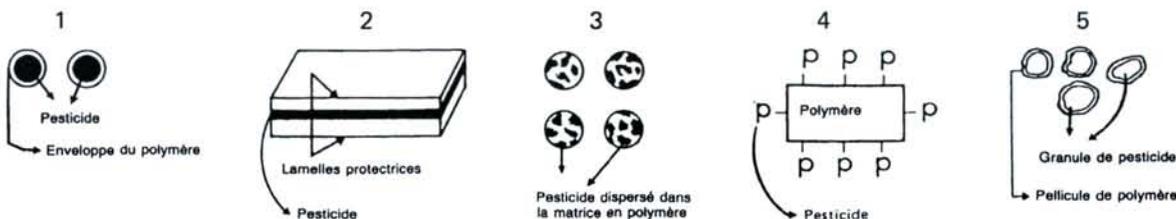
recouverts d'une pellicule de polymère. Ce polymère règle le débit du pesticide (5).

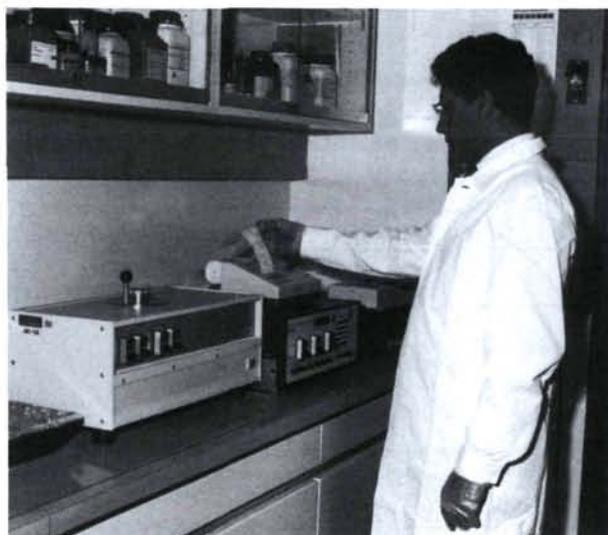
Avantages des préparations retard:

- La durée des pesticides non persistants peut être prolongée.
- Quantité réduite de pesticide pour une même période d'activité, d'où moins de pertes et d'applications.
- Réduction des pertes dues aux facteurs environnementaux (évaporation, photolyse, lessivage, dégradation par des agents chimiques et microbiologiques). On peut ainsi économiser sur l'agent actif.
- Moindre contamination de l'environnement.
- Toxicité réduite pour les espèces non visées de végétaux, mammifères, oiseaux et poissons, et autres organismes.
- L'application du pesticide peut être mieux ciblée, ce qui en accroît l'efficacité.
- Plus grande sécurité lors de l'application, de la manipulation ou de toute autre opération mettant le personnel en contact avec le pesticide.

Inconvénients:

- L'application de certaines préparations exige un matériel spécial.
- Le produit peut être plus onéreux, à cause du coût de certains travaux de recherche spéciaux et du prix plus élevé de certains constituants inertes.





L'activité du radio-indicateur fixé au pesticide est mesurée à l'aide d'un compteur à scintillateur liquide.

tion, rupture mécanique et autres mécanismes. Le débit dépend de la nature du système retard adopté, du mécanisme qui le règle et des propriétés physico-chimiques du pesticide utilisé.

Les radio-indicateurs facilitent la recherche

Cette technique nucléaire couramment utilisée est l'un des outils les plus précis et les plus fiables dont dispose le chimiste pour faire l'analyse quantitative et qualitative des pesticides et de leurs résidus.

Pour mettre au point une préparation retard, il faut d'abord étudier le débit de l'agent actif dans l'environnement choisi (par exemple l'air, l'eau ou le sol). Cette information est indispensable pour modifier les caractéristiques pertinentes du produit. Pour atteindre son maximum d'efficacité, le pesticide doit être libéré à un taux optimal. Pour déterminer la quantité de pesticide libéré dans les divers composants de l'environnement (sol, eau, plantes, poissons), on peut procéder périodiquement à l'analyse d'échantillons représentatifs de ces composants, soit par des méthodes classiques, soit en appliquant des techniques nucléaires. Les méthodes radioanalytiques sont plus sensibles et plus expéditives, car elles exigent moins de manipulations.

Dans un écosystème agricole où l'on veut détruire un prédateur déterminé sans nuire aux autres organismes, le taux auquel le pesticide se libère de sa préparation peut être un facteur décisif. Par exemple, pour désherber un écosystème riz/poisson, il faudrait chercher à détruire les plantes adventices sans préjudice pour le poisson. Or, nombreux sont les pesticides classiques qui, appliqués en quantité suffisante pour détruire les mauvaises herbes, sont également toxiques pour le poisson. En revanche, avec une préparation retard, l'herbicide serait libéré en quantité suffisante pour détruire les végétaux cibles sans pour autant endommager le poisson ou les autres espèces non visées.

L'étude d'une préparation capable de libérer une quantité déterminée de pesticide au moment voulu est un travail assez délicat. Si l'on marque l'agent actif avec un radio-isotope, tel que le tritium, le carbone 14, le phosphore 32 ou le chlore 35, les quantités libérées dans le milieu choisi, par exemple l'eau, peuvent être mesurées avec précision, à l'aide d'un compteur à scintillateur liquide, lequel permet de déterminer la concentration de la substance marquée.

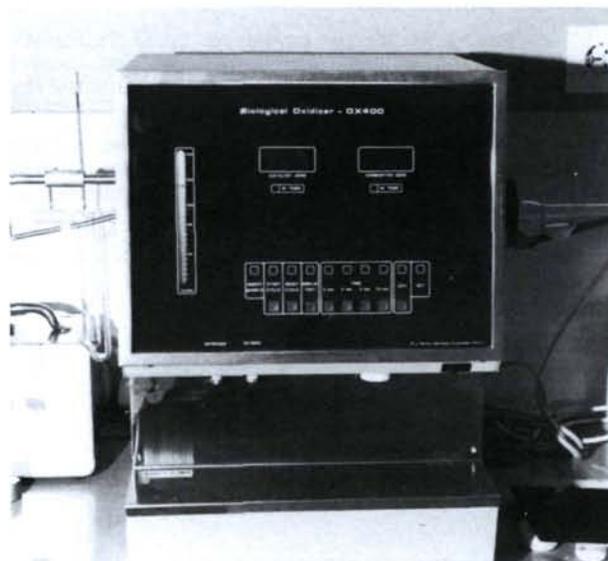
Les méthodes classiques, telle la chromatographie, peuvent aussi être utilisées, mais il faut alors épurer l'échantillon au préalable. Il est également possible de mesurer plus rapidement les quantités de pesticide demeurées dans la préparation, par combustion en atmosphère d'oxygène; l'anhydride carbonique au carbone 14 qui se dégage peut ensuite être quantifié, alors que les méthodes analytiques classiques ne permettent pas toujours d'extraire intégralement les restes de pesticides non marqués. Dans la plupart des cas, on utilise d'ailleurs conjointement la chromatographie et la radioanalyse, car les deux méthodes se complètent.

Pour préparer un pesticide retard acceptable, il ne suffit pas d'en fixer le débit; il faut aussi étudier les aspects suivants:

- Stabilité de la préparation dans les conditions environnementales à prévoir et en magasin;
- Sort du pesticide dans le sol, l'eau et les autres compartiments de l'environnement;
- Absorption et distribution du pesticide dans les organismes vivants exposés, et quantités de résidus résultant des variations du débit de dégagement.

Les techniques nucléaires peuvent ici encore faciliter la tâche.

Les résidus des pesticides radiomarqués dans les préparations retard peuvent être mesurés après combustion dans une atmosphère d'oxygène qui produit de l'anhydride carbonique (carbone 14) quantifiable.



Contribution de la FAO et de l'AIEA à la recherche

La Division mixte FAO/AIEA de l'application des techniques nucléaires dans l'alimentation et l'agriculture assiste depuis 1983 des programmes internationaux de recherche coordonnée sur les pesticides retard, auxquels participent des établissements de recherche des pays suivants: Belgique, Chine, Etats-Unis d'Amérique, Hongrie, Inde, Indonésie, Malaisie, Pakistan, Philippines, République fédérale d'Allemagne, République-Unie de Tanzanie, Royaume-Uni et Thaïlande.

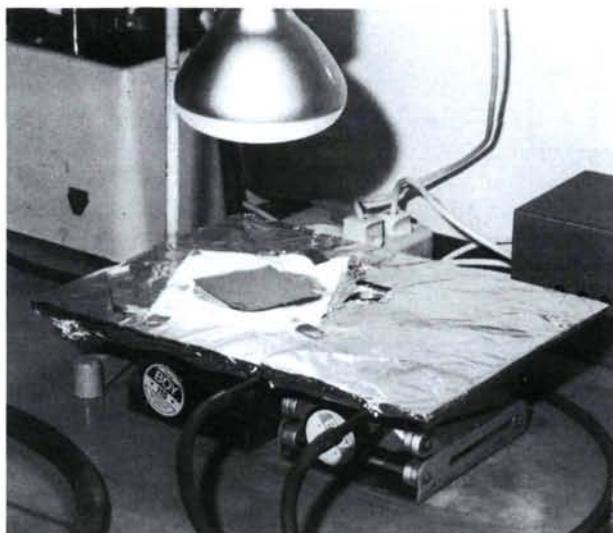
Diverses préparations de ces pesticides destinés à différents écosystèmes agricoles ont été mises au point et essayées. Il s'agit notamment de préparations de DDT, dieldrine et endosulfan à base d'alginate; de carbofuran incorporé à diverses matrices biodégradables, dont le natrosol, le latex, l'alginate et la lignine; et de préparations d'insecticides pyréthroïdes comme la deltaméthrine, l'alfacyperméthrine et la cyfluthrine. De même, diverses formules d'herbicides retard ont été préparées et mises à l'essai, notamment des combinaisons de butachlore 2, 4-D, dichlobénil, terbutryne et thiobencarbe, à base d'alginate, de natrosol ou de latex.

Les résultats ont prouvé qu'il était possible de préparer des composés retard utilisables et d'aboutir ainsi à des produits plus efficaces, plus sûrs et moins dangereux pour l'environnement avec certains des pesticides d'usage courant tant dans les pays avancés que dans les pays en développement.

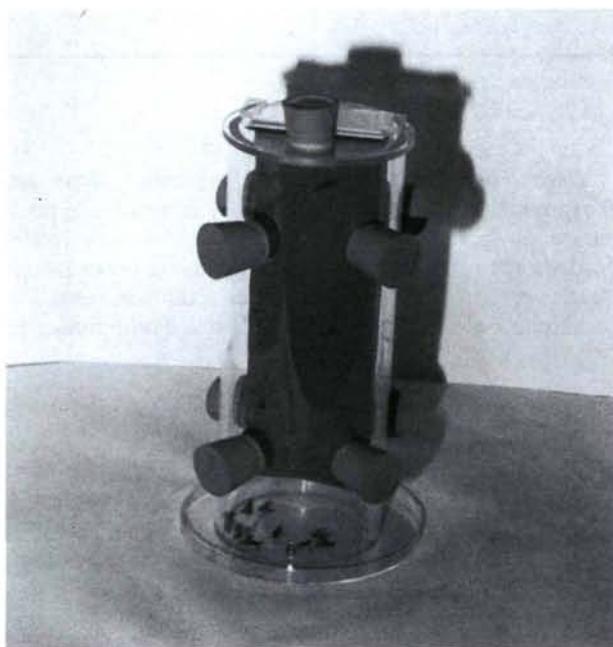
Actuellement, il existe un programme de recherche coordonnée sur la préparation de pesticides retard à l'aide de techniques nucléaires lancé par la Section d'agrochimie de la Division mixte FAO/AIEA. Ce programme, entrepris en 1988, comporte deux parties: l'une concerne les insecticides retard contre la mouche tsé-tsé et l'autre vise à étudier des herbicides retard contre la végétation adventice des rizières et des écosystèmes riz/poisson. Des contrats de recherche ont été passés avec neuf établissements de pays en développement, et des accords de recherche ont été signés avec trois établissements des Etats-Unis et du Royaume-Uni.

Lutte contre la mouche tsé-tsé. Dans certaines régions d'Afrique, on utilise des écrans cibles imprégnés d'insecticides pour empêcher la prolifération de la mouche et sa pénétration dans les zones non infestées. Or, ces écrans sont mis en place à l'air libre, de sorte que l'insecticide se dégrade par photolyse, ou est emporté par les eaux de pluie et autres phénomènes météoriques. Il faut donc retraiter, ce qui nuit à l'efficacité et augmente le prix de l'opération. Aussi, les recherches en cours ont-elles pour objet d'étudier des préparations retard de certains insecticides qui permettront de prolonger la durée utile des écrans dans le milieu. La protection contre les effets nuisibles de l'ultraviolet du rayonnement solaire fait l'objet d'un soin particulier, car il se trouve que les insecticides qui se sont avérés les plus efficaces se distinguent aussi par leur sensibilité aux rayons ultraviolets.

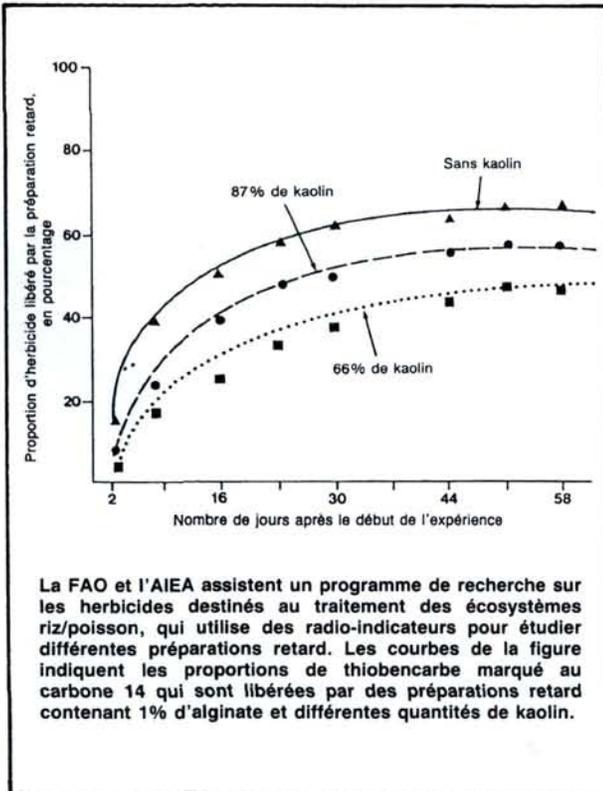
Grâce au marquage de l'insecticide au carbone 14, on a pu montrer que l'addition de certains des composés chimiques qui ont la propriété d'absorber les rayons ultraviolets avait pour effet d'inhiber la photolyse.



Des préparations d'insecticide retard pour la lutte contre la mouche tsé-tsé sont à l'étude. Sur notre photo, un écran cible imprégné d'un insecticide marqué par un radio-indicateur est soumis au rayonnement ultraviolet d'une lampe solaire Osram; l'écran fait aussi l'objet d'un test biologique.



On a également montré que l'addition de certaines huiles à la préparation réduisait le lessivage. Comme il est également souhaitable que la mouche soit attirée par la cible traitée, on ajoute également aux préparations des composés chimiques qui semblent avoir cette propriété. On espère que les scientifiques qui collaborent à ce programme obtiendront des préparations d'insecticides qui prolongeront la durée de l'agent actif sur les cibles, et permettront de lutter contre la mouche tsé-tsé de façon économique, efficace et acceptable pour l'environnement.



Destruction de la végétation adventice dans les écosystèmes riz/poisson. Des travaux de recherche pour mettre au point des préparations d'herbicides retard destinés aux rizières et aux écosystèmes riz/poisson sont menés en coordination avec des établissements de recherche de la Chine, de l'Inde, des Philippines, de

l'Indonésie, de la Hongrie et de la Malaisie. Un premier travail fait aux Laboratoires de l'AIEA de Seibersdorf a montré que l'on pouvait obtenir une préparation thiobencarbe dans une matrice d'alginate, avec du kaolin comme excipient. On étudie actuellement le débit d'un herbicide retard marqué au carbone 14, préparé avec diverses proportions d'alginate et de kaolin (*voir la graphique*).

L'expérimentation a déjà permis de constater que le débit peut varier en fonction des proportions d'alginate et de kaolin. Ces préparations sont actuellement mises à l'essai dans la serre des Laboratoires de Seibersdorf et par les établissements coopérants de plusieurs pays en développement, pour étudier leurs effets comparés sur la germination et la croissance du riz et des espèces végétales adventices d'importance économique. L'innocuité relative des diverses formules pour le poisson sera également étudiée à Seibersdorf et par les participants au programme de recherche coordonnée. L'idéal serait d'obtenir un herbicide capable de détruire la végétation adventice nuisible sans causer de dommage aux plants de riz, aux poissons et aux autres organismes non visés par le traitement, et sans laisser des quantités inacceptables de résidus ou de métabolites.

L'intérêt croissant que suscite l'étude des préparations retard en tant que discipline scientifique à part entière est mis en évidence par la multiplication des articles sur ce sujet qui paraissent dans nombre de publications, et par l'organisation de colloques plus nombreux chaque année. Comme cette discipline ne cesse de faire des adeptes parmi les chercheurs, une association spécialisée, la Controlled-Release Society, a été créée en 1978 et publie depuis 1984 un périodique intitulé *Journal of Controlled-Release*. Il est maintenant certain que la technique des préparations retard peut contribuer utilement à la solution des problèmes d'alimentation et d'agriculture.

