

Les produits chimiques dans l'agriculture

par J.R. Plimmer*

L'agriculture utilise de grandes quantités de produits chimiques artificiels comme engrais, comme insecticides ou herbicides et comme régulateurs de la croissance des plantes. Les insecticides et les herbicides sont épanchés dans l'environnement pour lutter contre les insectes, les mauvaises herbes, les maladies des plantes et autres facteurs nuisibles qui influent sur les cultures ou l'élevage, ainsi que pour lutter contre les insectes qui transmettent les maladies humaines. Ils jouent donc un rôle de premier plan dans l'agriculture et en hygiène publique. Du fait de ses avantages en termes de rendement économique et d'amélioration de la santé et du bien-être de l'homme, cette technique de lutte chimique a été rapidement adoptée dans le monde entier. Toutefois, l'utilisation des insecticides dans les pays développés est souvent réglementée et surveillée à cause des problèmes qu'elle peut entraîner si elle n'est pas judicieuse. Malheureusement, de nombreux pays en développement n'ont pas l'expérience et les connaissances techniques nécessaires pour résoudre de tels problèmes.

La quantité d'insecticide qui n'atteint pas l'organisme cible fait problème à cause des effets potentiels sur l'homme et son environnement. C'est pourquoi les réglementations relatives aux insecticides exigent la présentation de renseignements sur le sort potentiel des insecticides dans l'environnement ainsi que sur leur toxicité pour diverses espèces non visées. Les résidus d'insecticides dans les cultures ou dans les aliments posent des problèmes particuliers; leur présence est importante non seulement en ce qui concerne l'homme, mais aussi au point de vue du commerce international. Le terme « résidu » s'applique non seulement au produit initial, mais aussi aux composés qui peuvent en être dérivés par métabolisme, par modification chimique ou par d'autres processus. Dans les pays développés, le problème des résidus fait l'objet d'une réglementation très complète et des limites ont été fixées pour les quantités maximales admissibles de résidus dans les aliments. Ailleurs, on applique en général les directives élaborées par la FAO et l'Organisation mondiale de la santé (OMS).

L'OMS a proposé de définir une incorporation quotidienne acceptable de résidus d'insecticides dans les aliments, correspondant à la quantité d'un insecticide qui pendant une vie entière semble ne pas présenter de risques appréciables compte tenu de tous les facteurs connus à l'époque (n° 391 de la Série des rapports techniques, p. 22, Organisation mondiale de la santé, Genève (Suisse), 1968).

Les insecticides peuvent entrer dans la chaîne alimentaire de l'homme de nombreuses façons, mais il n'y a pas que l'homme qui soit menacé. On se préoccupe

beaucoup aussi de l'environnement. Les effets des insecticides sur les ressources naturelles, telles que le sol et l'eau, doivent être étudiés. Les espèces non visées doivent être protégées contre les effets nuisibles des résidus d'insecticides.

Il importe donc de détecter et de mesurer les insecticides dans les aliments, les cultures, l'eau, le sol, l'air, les animaux, les poissons et d'autres éléments de l'environnement. On dispose de toute une gamme de techniques analytiques pour la détection et l'analyse quantitative des résidus. Toutefois, quand on sait qu'en octobre 1977 l'Agence de protection de l'environnement des Etats-Unis a établi une liste de 1850 substances et plus de 40 000 produits insecticides et qu'environ 727 000 tonnes d'insecticides ont été produites aux Etats-Unis en 1975, on comprend que l'analyse des résidus puisse poser des problèmes.

On utilise des procédures analytiques permettant de détecter de faibles teneurs (de 0,1 à 0,01 partie par million ou même moins). Les méthodes doivent être sélectives, et il est souvent demandé aux analystes d'obtenir une sensibilité et une sélectivité encore plus grandes car on se préoccupe de plus en plus des effets à long terme des faibles quantités d'insecticides.

Avant d'autoriser l'utilisation d'un insecticide, les autorités compétentes demandent souvent que soient faites des études de métabolisme dans les plantes, les oiseaux, les poissons, les mammifères et l'environnement. Habituellement, les fabricants utilisent pour ces études des molécules synthétiques marquées par radioisotopes (^{14}C , ^3H ou d'autres isotopes). L'emploi de traceurs est devenu la technique usuelle pour les recherches sur le sort des molécules complexes dans les tissus biologiques, le sol ou d'autres matrices complexes. Les molécules marquées permettent de répondre sans ambiguïté aux questions que soulève l'analyse quantitative ou qualitative.

La compilation de données sur les résidus par le fabricant est nécessaire pour garantir la sûreté du consommateur. Toutefois, du point de vue de l'utilisateur, le fabricant doit aussi prouver que ces produits sont efficaces et donner des instructions quant à leur utilisation. Les taux d'application doivent être indiqués et les modes d'emploi recommandés devraient garantir que des résidus nuisibles ne restent pas dans les plantes.

L'efficacité et la sûreté des insecticides sont donc étroitement liées. Une utilisation efficace implique aussi une utilisation économique. Les insecticides sont coûteux. L'excès d'insecticides non seulement est non économique, mais risque aussi d'accélérer l'apparition d'une résistance chez les insectes ou les mauvaises herbes ou de réduire le nombre d'organismes utiles.

La sûreté et l'efficacité ne peuvent être garanties que par des efforts continus visant à surveiller et à améliorer

* M. Plimmer est Chef de la Section de l'agrochimie et des résidus de la Division mixte FAO/AIEA.

la façon dont les insecticides sont utilisés. Le programme de la Section de l'agrochimie et des résidus de la Division mixte FAO/AIEA porte sur l'examen des résidus d'insecticides dans plusieurs aliments, sur le comportement des insecticides dans l'environnement et sur la composition d'insecticides spécifiques et leur application à la cible.

Besoins des pays en développement

L'intensification de l'agriculture dans de nombreux pays en développement s'accompagne d'une augmentation des importations et de l'utilisation des insecticides. Au Venezuela, par exemple, les importations annuelles de substances actives sont passées d'un peu plus de 4657 tonnes en 1967 à 15 710 tonnes en 1976 et ont atteint 26 600 tonnes en 1982. Le cas du Venezuela est typique, de nombreux pays cherchant à parvenir à l'autosuffisance en matière de production alimentaire.

La majorité des insecticides sont mis au point en Europe, en Amérique du Nord ou au Japon. Le coût de mise au point d'un insecticide nouveau, qui se monte actuellement à quelque 20 millions de dollars par composé aux Etats-Unis, fait qu'il est peu probable que de nouveaux produits chimiques deviennent disponibles pour des cultures autres que les principales cultures mondiales. Par conséquent, il faudra faire largement appel aux composés existant actuellement. Ces composés sont de plus en plus utilisés dans les pays tropicaux. L'efficacité étant potentiellement influencée par le climat et d'autres facteurs environnementaux, il est essentiel d'élaborer des modalités d'emploi adaptées aux cultures, aux climats et aux ravageurs des diverses régions du monde. Les facteurs qui influencent l'efficacité influent aussi sur les caractéristiques des résidus. Les taux de perte de résidus dépendent de la température, des précipitations et de l'ensoleillement, ainsi que de la nature des cultures et de sols.

Malheureusement, de nombreux pays en développement n'ont pas suffisamment d'expérience de l'utilisation des insecticides organiques synthétiques pour pouvoir résoudre les problèmes que peut poser leur emploi. Ces pays manquent de personnel formé aux analyses de contrôle de la qualité et à la surveillance des cultures, des sols, etc., pour déterminer la présence de résidus d'insecticides, et leurs installations sont souvent limitées. La FAO a pris conscience de ce problème et a recommandé en 1961 l'extension de son programme en matière d'insecticides afin d'élaborer une approche internationale efficace et de fournir aux gouvernements des conseils appropriés.

Depuis lors, la FAO s'occupe de plus en plus de fournir des conseils d'experts sur les questions relatives aux insecticides, en particulier pour tout ce qui a trait à l'autorisation (y compris la sûreté et le contrôle). Outre ces activités, la FAO a cherché à fournir un appui technique à de nombreux projets entrepris dans des pays en développement pour accroître la sûreté et l'efficacité de l'emploi des insecticides. Ces programmes visent notamment à augmenter les effectifs de personnel national formé à divers aspects de l'emploi et du contrôle des insecticides et à créer des laboratoires de contrôle de la qualité des insecticides et de mesure des résidus dans les aliments et l'environnement.

Pour résoudre les problèmes que posent les insecticides, il faut faire appel à des techniques variées. La possibilité d'appliquer les méthodes nucléaires augmente considérablement les capacités d'un laboratoire ordinaire. Les molécules marquées par radioisotopes sont fréquemment utilisées dans les études analytiques, les études du métabolisme des insecticides et les recherches sur le comportement des insecticides dans l'environnement. La Division mixte FAO/AIEA a aidé plusieurs Etats Membres en développement à entreprendre et à réaliser dans ce domaine des projets faisant appel aux techniques nucléaires.

Les activités de la Section de l'agrochimie et des résidus sont très variées. Les projets entrepris dans les Etats Membres ont pour principal objectif l'amélioration de la sûreté et de l'efficacité des insecticides, mais certains projets portent aussi sur l'utilisation des déchets agricoles.

Résidus d'insecticides

Les études à l'aide des radioisotopes des insecticides contenus dans les produits stockés ont été parmi les premières du genre. Les travaux innovateurs de F.P.W. Winteringham et de ses collègues dans les années 50 ont mis en évidence les types de résidus résultant de la fumigation avec des produits halogénés et leurs effets sur la qualité de la farine de blé. L'utilisation de composés marqués au ^{14}C a fourni un modèle pour de nombreuses études similaires.

L'ensilage des céréales, en particulier lorsque les récoltes sont abondantes, représente un gros investissement, mais les pertes causées par les ravageurs peuvent être considérables, notamment dans les zones tropicales.

La fumigation sert à lutter contre les infestations en masse et les insecticides peuvent être utilisés pour empêcher la fixation des parasites. Les résidus dépendent des méthodes d'application, de l'intervalle entre l'application et l'absorption, des conditions d'ensilage, de la nature du produit stocké et de la nature des substances actives. Comme les techniques radioisotopiques sont idéales pour de telles études, la Section de l'agrochimie et des résidus a lancé un programme de recherche coordonnée pour étudier les résidus d'insecticides dans les céréales. L'objectif est de déterminer la nature et le volume des résidus et de montrer comment les résidus finals pourraient être minimisés par modification des méthodes d'application.

L'emploi d'insecticides dans l'élevage est très courant. Les aliments pour animaux et l'environnement peuvent être contaminés par les résidus d'insecticides. Pour étudier le volume des insecticides dans la viande ou le lait, on a lancé un programme coordonné comportant plusieurs études, dont certaines sur les résidus d'insecticides organophosphorés et chlorés, ainsi que des aflatoxines naturelles.

Certaines utilisations présentent peu ou pas de problèmes. En Egypte par exemple, le volume des résidus de Methomyl dans le lait est tellement faible qu'il n'y a guère de risques pour le consommateur.

Le comportement des insecticides est influencé par l'environnement, et l'on a dit que certains insecticides,

bien qu'ils ne se dégradent pas facilement en climat tempéré, peuvent subir une dégradation et une détoxification beaucoup plus rapides dans les zones tropicales. Une telle possibilité est particulièrement importante pour les pays en développement parce que beaucoup d'entre eux se trouvent dans les régions tropicales et que de nombreux insecticides qui ne peuvent plus être utilisés dans les zones tempérées pourraient être tout à fait satisfaisants en climat tropical. Leur temps de présence dans l'environnement ou «persistance» pourrait être considérablement inférieur dans les zones tropicales. Comme beaucoup de ces insecticides sont bon marché et efficaces, il n'y aurait guère de raison de les abandonner si les risques pour l'environnement sont faibles. Les radio-traceurs étant un outil idéal de mesure des taux de dégradation et de dissipation dans un milieu tropical (ou autre), l'étude de ces insecticides a été entreprise dans le cadre d'un programme de recherche coordonné.

Résidus liés et conjugués

Des progrès considérables ont été faits en ce qui concerne les techniques d'analyse des insecticides grâce à l'utilisation d'insecticides marqués par radioisotopes. Les analyses traditionnelles basées sur l'extraction par solvant donnent des renseignements quantitatifs sur l'insecticide et ses produits de dégradation. On pensait que la fraction non extractible avait été dégradée ou métabolisée et ne présentait pas de problème au point de vue scientifique. Ces résidus sont dits «liés». Toutefois, la question de la réversibilité de la liaison s'est posée pendant les années 70. Dans ce contexte, les résidus «liés» semblent être très étroitement associés à un substrat, tel que le sol, alors que les résidus «conjugués» sont formés par une liaison chimique d'un pesticide et d'un composé d'origine biologique, tel qu'un acide aminé ou une molécule de sucre. On s'est demandé quelle était leur importance toxicologique, et les organismes réglementaires ont été priés de s'attaquer à ce problème potentiel. Pour étudier la nature des résidus liés et conjugués, il faut faire appel à des techniques d'analyse complexes et l'utilisation d'insecticides marqués par radioisotopes est essentielle.

Quelquefois, les résidus «liés» constituent une fraction considérable de l'ensemble des résidus, mais ne seraient pas détectés par les méthodes d'analyse courantes. La liaison peut être due à des forces d'adsorption exceptionnellement puissantes ou à la formation de liaisons chimiques entre l'insecticide et des composants du tissu ou du sol. La Section de l'agrochimie et des résidus dirige un programme de recherche coordonnée pour étudier certains problèmes que posent les résidus «liés» afin d'en déterminer la nature et la quantité et d'améliorer les méthodes de mesure et d'identification.

Les études menées avec des insecticides marqués au ^{14}C montrent quelle est l'ampleur du problème. Par exemple, 38% de la radioactivité fournie reste liée 12 jours après l'application de Malathion au sol. Avec le Paraquat, qui est un herbicide, il n'y a pas de perte de radioactivité par le sol un an après l'application en laboratoire, alors qu'en plein champ on constate une perte de 26% 15 mois après l'application. Le Paraquat représente un cas extrême, mais un pourcentage important de la radioactivité est retenu dans plusieurs cas.

Le programme a pour objectifs d'améliorer la méthodologie et de comparer la performance des méthodes par des recherches portant sur des produits chimiques courants faites dans plusieurs pays coopérants. L'utilité de techniques spécifiques telles que la distillation à haute température dans les études comparatives a été clairement prouvée.

Le problème principal est celui des effets toxicologiques des résidus d'insecticides «liés» et de leur biodisponibilité. Le programme constitue une base essentielle pour l'acquisition de données quantitatives et qualitatives sans lesquelles toute discussion des questions toxicologiques devient une simple spéculation.

Composition des insecticides

La quantité d'un insecticide qui atteint l'organisme cible peut représenter une fraction extrêmement petite de la quantité appliquée. Les substances actives d'un insecticide sont mélangées de façon à faciliter l'application et à garantir que la cible reçoit une dose efficace. Habituellement, il suffit que la dose efficace soit très petite, mais une grande partie de la quantité appliquée se dissipe avant d'atteindre la cible. Une part importante atteint le sol ou des organismes non visés, ce qui représente une perte «économique» et un risque de contamination de l'environnement.

En améliorant la composition on améliore l'efficacité et peut-être aussi la sûreté de l'expédition et de la manutention des insecticides. Récemment, des progrès considérables ont été faits en ce qui concerne la technique de la libération contrôlée des insecticides. Dans ce cas, l'insecticide est contenu dans un réservoir et est libéré de façon à maintenir un niveau de concentration choisi pendant une période de temps spécifique. Le réservoir sert à empêcher que les substances actives ne soient perdues par volatilité ou dégradation par des agents externes et confine l'insecticide au point d'application.

Il existe plusieurs matrices ou dispositifs de libération contrôlée; l'adaptation d'une technique donnée dépend de son efficacité dans une situation spécifique et de son rendement économique.

On est en train d'évaluer dans le cadre d'un programme de recherche coordonnée différents types de matrices en polymère. Des insecticides marqués par radioisotopes sont utilisés pour étudier le comportement de la substance active, son taux de libération et son sort dans l'environnement. Le Laboratoire de biotechnologie agricole de Seibersdorf est en train d'essayer des compositions à base d'alginate car les polymères naturels semblent être intéressants du point de vue économique. En Indonésie par exemple, le latex naturel est utilisé pour préparer des herbicides et le problème de la vulcanisation a été résolu par irradiation du latex.

Des techniques de composition plus complexes sont étudiées par un laboratoire participant au programme à Neuherberg (République fédérale d'Allemagne) qui a élaboré des mélanges de polymères à base de polyéthylène ou de copolymères éthylène/acétate de vinyl pouvant être moulés ou extrudés en fils servant à la lutte contre les mauvaises herbes aquatiques.

Plusieurs compositions ont été évaluées lors d'études préliminaires en laboratoire. Des compositions telles que l'Endosulfan dans une matrice à base d'alginate seront essayées en plein champ contre des insectes s'attaquant au coton. On continuera à optimiser la performance des nouvelles compositions grâce à des expériences de laboratoire conduites avec des substances marquées par radioisotopes.

Produits trypanocides

Quelque 10 millions de km² du continent africain sont infestés par la mouche tsé-tsé, qui transmet la trypanosomiase, maladie parasitaire du bétail et de l'homme. Cette maladie réduit la production de bétail et empêche de mettre en culture des superficies importantes. La lutte contre la mouche tsé-tsé et la production de vaccins adaptés permettraient de résoudre en partie le problème. Toutefois, aucune des deux méthodes n'est techniquement applicable à l'heure actuelle et la chimiothérapie est la seule méthode praticable de lutte contre la trypanosomiase animale. On estime à plus de 25 millions le nombre de doses de produits trypanocides utilisées actuellement en Afrique. Cependant, aucun produit nouveau n'a été mis sur le marché au cours des 25 dernières années et il faut donc utiliser le nombre limité de produits disponibles.

Bien que ces produits continuent d'être utilisés, les experts conviennent que leur mode d'action n'est pas connu et que leur emploi pourrait être optimisé si la relation entre la dose de produit et l'effet curatif ou préservatif était clairement comprise.

Pour obtenir les renseignements nécessaires, des produits marqués par radioisotopes seront utilisés au cours d'études sur les animaux par l'Institut kényen de recherche sur la trypanosomiase. On cherchera à obtenir des renseignements sur les concentrations de produits dans les tissus pour les mettre en corrélation avec les effets biologiques de l'administration des produits. Des méthodes précises d'analyse des produits trypanocides ont été mises au point par le Laboratoire de biotechnologie agricole et seront utilisées au cours de recherches pratiques au Kenya.

Utilisation de la biomasse – déchets agricoles

L'énergie tirée des combustibles fossiles est un facteur essentiel dans la production et la distribution des produits agricoles. L'agriculture moderne dépend fortement des sources d'énergie et le coût croissant de l'énergie est une limitation majeure à la production agricole, que ce soit dans les pays développés ou dans les pays en développement. Des travaux considérables de recherche – développement sont en cours pour exploiter de nouvelles sources d'énergie. En particulier, l'utilisation de sources renouvelables (fumier, résidus de cultures, cultures

«énergétiques», etc.) pour la production d'énergie, d'aliments pour animaux ou d'engrais pour les plantes est un domaine de recherche dans lequel les techniques nucléaires peuvent jouer un rôle utile.

De l'énergie sous forme de méthane ou d'éthanol peut être produite par fermentation à partir des déchets cellulosiques. Les processus de fermentation sont aussi très couramment utilisés pour la production d'aliments pour l'homme et les animaux et de boissons, et une recherche majeure dans le domaine en expansion de la biotechnologie est l'extension et l'amélioration des processus de fermentation grâce à des catalyseurs biologiques «sur mesure».

La connaissance imparfaite que l'on a des processus en jeu limite les techniques actuelles de production d'énergie. L'obtention de méthane par fermentation (biogaz) est une technique relativement récente de production d'énergie à partir de déchets tels que le fumier. Bien que les connaissances scientifiques soient rudimentaires, on a déjà identifié de nombreuses limitations telles que la faible capacité des micro-organismes de digérer les substrats ligneux (bois, paille, etc.). La fermentation peut être ralentie ou inhibée par la présence de certains micro-organismes ou par l'excès de certains intermédiaires dans le processus de désintégration. Par ailleurs, la fermentation ne peut se produire que dans des limites étroites de pH ou de température.

Les processus de production d'énergie et leurs limites font donc l'objet de recherches menées dans de nombreux laboratoires de par le monde. Les techniques nucléaires sont utilisées pour ces recherches et la Division mixte FAO/AIEA appuie plusieurs projets de recherche. On étudie les processus se produisant dans les générateurs de méthane en zones rurales et l'influence des conditions d'exploitation sur le rendement de la production de méthane par l'addition de substrats marqués par radioisotopes aux déchets en fermentation.

Il sera peut-être possible d'élever le taux de désintégration des fibres ligneuses et le taux de fermentation à des températures plus basses en utilisant de nouveaux types de micro-organismes. On a produit des mutants par irradiation afin d'accroître la capacité des micro-organismes de dégrader des déchets agricoles tels que la bagasse provenant de la production de la canne à sucre ou les déchets de fruits restant après fermentation et distillation des alcools.

L'observation de termites africaines utilisant le bois comme aliment donne à penser que la microfaune présente dans l'intestin des termites possède des capacités uniques de dégradation des fibres ligneuses. Le Laboratoire de biotechnologie agricole a entrepris un programme de recherche pour identifier et exploiter ces organismes. On a isolé des organismes dégradant la cellulose pour des études de mutation; des scientifiques de Nairobi (Kenya) coopèrent avec des scientifiques de la Division mixte FAO/AIEA dans le cadre de ce projet.