

Les applications des isotopes et des rayonnements en agriculture*

par C.G. Lamm

Lorsqu'on évoque l'énergie atomique, c'est souvent aux réacteurs nucléaires que l'on pense. Peu de gens cependant se rendent compte qu'un autre aspect de l'énergie atomique a changé leur vie quotidienne au cours des vingt ou trente dernières années. Lorsque l'Agence internationale de l'énergie atomique fut créée en 1957, elle avait notamment pour objectif prioritaire de généraliser l'emploi des radioisotopes et des sources radioactives dans la recherche, l'industrie, l'agriculture et la médecine. Peu de gens savent aujourd'hui dans quelle mesure cet objectif a été atteint. Par exemple, les radioisotopes et les rayonnements dirigés servent à améliorer les cultures vivrières, à préserver les aliments, à déterminer les ressources en eau, à stériliser les produits médicaux, à analyser les hormones, à radiographier les pipelines, à maîtriser les processus industriels et à étudier la pollution de l'environnement. Un grand nombre des objets que nous utilisons dans la vie quotidienne ont d'une manière ou d'une autre tiré profit des rayonnements au cours de leur production.

Certains éléments radioactifs comme le radium se trouvent dans la nature, mais la plupart des matières radioactives sont produites dans les réacteurs nucléaires ou par les accélérateurs. On ne peut généralement obtenir qu'un seul type de radioisotope à la fois dans un accélérateur, contrairement à ce qui se passe dans un réacteur où l'on peut produire de nombreux radioisotopes différents en même temps.

Avec l'apparition des réacteurs nucléaires, il a été possible d'obtenir de grandes quantités de matières radioactives à peu de frais. C'est pourquoi l'emploi des isotopes radioactifs produits artificiellement s'est généralisé un peu avant 1950. Les techniques modernes ont également donné aux scientifiques les moyens d'employer des isotopes stables, qui n'émettent pas de rayonnements.

Il nous faut pour la vie quotidienne des aliments, de l'eau et une bonne santé. Les isotopes jouent aujourd'hui un rôle important dans les techniques qui satisfont ces besoins fondamentaux.

ALIMENTATION ET AGRICULTURE

En 1964, l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) et l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) ont créé une Division mixte de l'énergie atomique dans l'alimentation et l'agriculture, installée au Siège de l'AIEA à Vienne. Cette Division mixte FAO/AIEA appuie et coordonne, dans le monde entier, des projets de recherche mettant en jeu les isotopes et les rayonnements dans les domaines

* *Adapté de la publication de l'AIEA "Les isotopes dans la vie quotidienne".*

suivants: amélioration des plantes, fertilité des sols, irrigation et production agricole, lutte contre les insectes et les parasites, production et santé du bétail, résidus chimiques et pollution et conservation des aliments. La Section d'agriculture du laboratoire de l'AIEA à Seibersdorf, près de Vienne, contribue le cas échéant à ces projets, en effectuant des recherches et en fournissant des moyens de formation et divers services.

Les objectifs des programmes internationaux menés par la Division mixte FAO/AIEA sont les suivants:

- 1) obtenir des variétés de plantes vivrières de grande culture à haut rendement et à haute teneur en protéines;
- 2) obtenir des variétés résistantes aux maladies et aux accidents climatiques (parfois une variété précoce de façon à obtenir deux ou trois récoltes par an);
- 3) localiser et utiliser rationnellement les ressources en eau;
- 4) déterminer le taux d'absorption des engrais et le rôle des oligo-éléments;
- 5) lutter contre les ravageurs des cultures ou les éliminer;
- 6) empêcher les pertes de récolte au cours de l'entreposage;
- 7) améliorer la productivité et la santé des animaux domestiques.

Dans tous ces domaines, les isotopes et les techniques d'irradiation ont apporté une contribution substantielle. Nous verrons dans la suite de cet article quelques-uns de ces programmes, qui tendent tous à renforcer les potentiels nationaux, principalement en offrant des moyens de formation et des services d'experts.

ALIMENTATION DES PLANTES

Il est très important d'utiliser rationnellement les engrais, qui non seulement sont coûteux mais représentent pour beaucoup de pays une sortie de devises importante. Le mauvais usage des engrais coûte cher et peut nuire à l'environnement. Il est donc essentiel que la plante absorbe la plus grande partie de l'engrais appliqué et que les pertes dues à une localisation défectueuse ou à une application intempestive soient réduites au minimum.

Les engrais marqués aux radioisotopes tels que le phosphore-32 ou aux isotopes stables tels que l'azote-15 permettent de déterminer combien d'engrais est absorbé par la plante et combien se perd dans l'environnement. L'azote-15 permet également d'évaluer directement la quantité d'azote de l'air fixé dans les conditions de culture considérées.

Dans un pays ayant participé à un programme de recherche sur l'emploi des engrais azotés dans la culture du maïs, organisé par la Division mixte FAO/AIEA, on a calculé que l'adoption par les cultivateurs des conclusions du programme sur la meilleure façon d'appliquer l'engrais avait rapporté 36 millions de dollars par an. Au cours d'un autre programme du même genre réalisé à Sri Lanka, et concernant la culture du cocotier, on a constaté que le bon emploi des engrais permettait non seulement d'économiser sur les achats d'engrais, mais encore, probablement, de diminuer les coûts de production. D'autres programmes analogues concernant des plantes de grande culture comme le riz ont permis d'économiser des millions de dollars sur les achats d'engrais. D'autres économies sont possibles. Un groupe d'experts a estimé récemment qu'on pouvait économiser jusqu'à 50% des engrais actuellement employés dans le monde en améliorant la qualité des engrais, la gestion de l'eau et les méthodes de culture.

LUTTE CONTRE LES INSECTES

Tandis que certains insectes jouent un rôle important dans le maintien de l'équilibre écologique naturel, d'autres détruisent de précieuses cultures vivrières. Certains insectes comme le moustique et la mouche tsé-tsé sont les vecteurs de maladies infectieuses.



Figure 1. L'emploi d'engrais marqué à l'azote-15, isotope stable, permet aux chercheurs de déterminer les besoins nutritifs des cultures et de rendre l'application d'engrais plus efficace.

On a estimé que, dans l'ensemble du monde, les pertes de récoltes dues aux insectes peuvent se monter à 10% de la récolte totale, soit l'équivalent de la récolte entière des pays comme les Etats-Unis ou l'URSS.

Les méthodes biologiques de lutte contre les insectes ont l'avantage de ne viser qu'une seule espèce et de contribuer à la protection de l'environnement en réduisant au minimum l'usage des insecticides. C'est ici que la méthode du lâcher de mâles stérilisés peut intervenir, comme elle l'a déjà fait avec des résultats spectaculaires. Cette méthode consiste à administrer à des insectes mâles élevés en laboratoire des doses de rayonnements ionisants suffisantes pour les stériliser. Les mâles stérilisés sont alors lâchés en grand nombre dans les zones infestées. Les femelles qui s'accouplent aux mâles stérilisés ne se reproduisent pas, si bien qu'en procédant de façon répétée à des lâchers de mâles stérilisés dans la région, on réduit fortement la population des insectes nuisibles.

La méthode du lâcher de mâles stérilisés fut utilisée pour la première fois avec succès contre la chrysoomyia, insecte qui vit dans les blessures des animaux à sang chaud, du bétail en

particulier. Après avoir élevé et stérilisé par irradiation des chrysomyia mâles, on les lâcha dans l'île antillaise de Curaçao. En l'espace de quelques générations, l'insecte avait pratiquement disparu de l'île. Plus tard, la méthode fut appliquée en Floride, où les pertes de bétail dues à la chrysomyia se chiffraient à plus de 25 millions de dollars par an. Après ces premiers succès encourageants, on a entrepris un grand nombre de projets de recherches qui ont permis d'étudier plus de 200 espèces d'insectes.

De gros efforts de recherche sur la mouche méditerranéenne des fruits ont abouti à de nouveaux succès à Capri et dans d'autres îles. Récemment, on a supprimé en Californie une poche d'infestation par recours aux insecticides d'abord, puis à la méthode du lâcher de mâles stérilisés. Cette méthode est maintenant appliquée à grande échelle en Amérique centrale, avec le concours de la Division mixte FAO/AIEA et de son laboratoire. De même, on a fait disparaître la mouche du melon de l'île de Rota, dans le Pacifique Sud.

L'un des plus grands ravageurs du monde est la mouche tsé-tsé, vecteur d'un parasite qui provoque la maladie du sommeil. La mouche tsé-tsé est un obstacle important au développement socio-économique de la partie de l'Afrique située au Sud du Sahara, car elle transmet la maladie aussi bien à l'homme qu'au bétail.

Pour appliquer la méthode du lâcher de mâles stérilisés à la lutte contre la mouche tsé-tsé, la Division mixte FAO/AIEA devait d'abord résoudre le problème de l'élevage en masse en laboratoire à un prix de revient raisonnable. La surveillance sur le terrain de l'efficacité de la méthode constitue également une difficulté sérieuse, mais on a mis au point une méthode simple fondée sur l'examen microscopique de l'appareil génital des femelles. Les entomologistes pensent maintenant qu'on peut lancer de grands projets de destruction de la mouche tsé-tsé faisant intervenir notamment cette méthode. Quelques expériences témoins ont été réussies en Haute Volta. Un grand projet est en cours à Tanga (Tanzanie), un autre a démarré au Nigeria.

MUTATIONS

Depuis 15 ans, les modifications génétiques obtenues par irradiation jouent un rôle croissant dans l'amélioration des plantes de grande culture, et la mise au point de variétés nouvelles par mutation est aujourd'hui une méthode reconnue d'amélioration des plantes.

Les organismes nationaux compétents ont approuvé la mise en vente d'environ 200 variétés de plantes de grande culture obtenues par mutations induites. L'importance prise par un grand nombre de ces variétés, du point de vue économique, n'est pas négligeable.

Un exemple d'amélioration réussie par mutation est la mise au point en Hongrie, en coopération avec le Laboratoire de l'AIEA à Seibersdorf, d'une nouvelle variété de riz résistante à la piriculariose, maladie désastreuse pour cette céréale. On avait d'abord essayé une variété française, le Césariot, connue pour sa bonne résistance à cette maladie ainsi qu'à d'autres. Toutefois, cette variété avait une maturité tardive en Hongrie et, les étés froids, elle avait des rendements faibles ou nuls. Le but de la modification génétique désirée était donc net: il s'agissait de produire des mutations assurant une maturité précoce sans préjudice de la bonne résistance à la piriculariose et d'autres qualités. Des échantillons d'un millier de graines de la variété Césariot furent irradiés par des rayonnements gamma à diverses doses et des neutrons rapides. Les graines irradiées furent plantées et la sélection des variétés à floraison précoce commença à la deuxième génération et se poursuivit à la troisième. On observa que l'un des mutants obtenus par irradiation avec des neutrons rapides donnait des épis trois semaines avant la variété-mère. Les semences naturelles de ce mutant furent replantées. Dans les générations suivantes, la lignée de ce mutant se caractérise par une germination très rapide et une croissance précoce (28 jours de différence avec le Césariot). D'autres expériences furent menées et le mutant donna satisfaction au cours



Figure 2. L'infestation des haricots nains blancs par les charençons peut être pratiquement conjurée par de faibles doses de rayonnements gamma.

d'essais divers effectués avec des engrais à forte ou à faible teneur en azote. L'aptitude au tallage se révéla très bonne également. Ainsi, avec un projet de mutation relativement simple, le problème immédiat était résolu. On avait mis au point un mutant de riz à maturation précoce et à bonne résistance aux maladies, qui pouvait être utilisé directement et servir aussi à d'autres croisements. Ce mutant a été officiellement recommandé en 1976 pour être commercialisé en tant que variété nouvelle sous le nom de Nucleory-2A.

On peut citer des douzaines d'exemples de mutations réussies dans d'autres pays, notamment les orges mutantes à fort rendement et à paille courte, qui peuvent absorber plus d'engrais et produire plus de grains. En fait, à l'heure actuelle, la plus grande partie des orges de printemps cultivées en Tchécoslovaquie et en République démocratique allemande sont soit des orges mutantes obtenues par irradiation, soit des orges des générations suivantes améliorées par croisement.

On peut citer aussi l'exemple d'un hybride amélioré du millet perle, qui est cultivé en Inde sur plusieurs millions d'hectares. La production de millet perle, qui avait atteint 8 millions de tonnes en 1970, tomba à 3,6 millions de tonnes en 1974 en raison d'une violente attaque par le mildiou, en particulier sur les hybrides. Le pourcentage des cultures atteintes variait de 30 à 100% suivant les régions.

Ce fléchissement était dû essentiellement à ce que les souches mâles stériles des hybrides du millet perle étaient devenues si sensibles à la maladie qu'on ne pouvait plus les cultiver. Les efforts faits pour induire par irradiation une résistance à la maladie ont abouti à la mise au point d'une souche qui s'est révélée extrêmement résistante au mildiou. Une fois commercialisée, cette souche devint la seule souche stérile mâle adaptée à la production de

semences hybrides en Inde. Grâce à ce nouvel hybride résistant, la production devrait finalement augmenter de plus de 3 millions de tonnes, soit en gros de 300 à 400 millions de dollars par an.

CONSERVATION DES ALIMENTS

Un monde qui a faim ne peut s'offrir le luxe de laisser détériorer 25 à 30% des denrées récoltées par les microbes et les parasites. Ce qui est particulièrement regrettable, c'est que les pertes les plus lourdes sont subies par les pays en développement. Souvent, il suffirait de prolonger la durée de conservation de quelques jours, particulièrement dans le cas du poisson et des fruits, pour empêcher les denrées de se perdre.

Plus de 25 années se sont écoulées depuis que l'on a découvert la possibilité de prolonger par irradiation la durée de conservation de certains produits alimentaires. Depuis lors, de très gros efforts ont été réalisés pour éprouver la comestibilité des denrées irradiées. En 25 ans, on n'a constaté aucun effet nuisible, ni sur les animaux, ni sur l'homme. Certaines autorités ont néanmoins montré peu d'empressement à approuver cette méthode efficace et peu onéreuse de conservation des aliments. Aujourd'hui, les résultats sont si convaincants que leur attitude est en train de changer, et que certaines denrées irradiées sont maintenant livrées à la consommation courante.

Au moins 70 centres expérimentaux et installations pilotes d'irradiation des denrées sont en service. Le fait que la plupart de ces installations aient été construites au cours des cinq ou dix dernières années prouve l'intérêt que portent depuis peu les gouvernements aux applications de l'irradiation des aliments.

Une étude économique de l'irradiation des denrées montre que le rapport coûts/avantages peut être intéressant. Selon l'ampleur de l'opération (capacité annuelle de traitement), le coût total de l'application de cette nouvelle méthode représente 0,9 à 3,2% de la valeur du produit pour l'inhibition de la germination des pommes de terre et des oignons, 0,19 à 1,24% pour la désinfestation des céréales, et 0,2 à 2% pour la prolongation de la durée de conservation du poisson.

La FAO/AIEA coordonne des recherches dans de nombreux pays, par exemple dans le Sud-Est asiatique et en Extrême-Orient, en vue de prolonger la durée de conservation du poisson séché, qui constitue une source de protéines alimentaires très importante pour les pays en développement.

PRODUCTION ANIMALE ET HYGIENE DU BETAIL

Dans de nombreuses régions du monde, la production animale est limitée par la faiblesse de la croissance de la capacité de reproduction et de la production laitière du bétail, ce qui limite aussi la consommation par l'homme de produits animaux tels que la viande, le lait, les œufs, les fibres animales, les peaux, etc. Le faible niveau de la production animale s'explique par une alimentation insuffisante ou mal équilibrée, un défaut d'adaptation aux conditions climatiques dominantes et des maladies parasitaires et autres.

Les programmes de recherches coordonnées portant sur l'étude du métabolisme des substances azotées non protéiques à l'aide de l'azote-15, sur l'utilisation des fourrages grossiers et des sous-produits agro-industriels pour l'alimentation des ruminants, ainsi que sur l'étude des carences minérales dans l'alimentation, aident à trouver de nouvelles méthodes d'alimentation dans les pays où l'approvisionnement en aliments traditionnels pour ruminants est insuffisant.

Les techniques de radioimmunos dosage appliquées à la mesure des modifications hormonales au cours du cycle de reproduction des bovins et des buffles sont utilisées dans un pro-



Figure 3. Le vaccin radio-atténué de la strongylose pulmonaire du mouton constitue un moyen de lutte puissant contre cette maladie dans les pays en développement.

gramme qui devrait permettre d'obtenir de meilleurs résultats à la reproduction en améliorant les méthodes de gestion et en utilisant de façon plus rationnelle les techniques d'insémination artificielle.

L'un des principaux obstacles à l'accroissement de la production est constitué par les maladies parasitaires et autres. Les techniques radioisotopiques permettent non seulement d'obtenir une représentation précise des effets des parasites sur leurs hôtes, mais aussi de voir de quelle manière on peut modifier les méthodes de gestion et les génotypes (races et variétés) afin de réduire au minimum l'effet du parasite ou de la maladie sur la production. Les rayonnements ionisants ont été appliqués avec succès à la production d'un vaccin atténué contre la strongylose pulmonaire des bovins et des ovins, et cette technique tend à se développer dans des régions comme le Brésil, l'Inde ou l'Éthiopie, où l'élimination de cette maladie parasitaire revêt une grande importance économique.