TECHNIQUES NUCLÉAIRES ET SÉCURITÉ ALIMENTAIRE
DOMAINES DE PROGRÈS

JAMES DARGIE

Les isotopes et les rayonnements ionisants sont utilisés depuis un demi-siècle pour fournir des solutions pratiques aux nombreux problèmes de développement alimentaire et agricole que connaît la planète. Depuis le milieu des années 60, l'AIEA et l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) collaborent par l'intermédiaire de la Division mixte FAO/AIEA, associant le savoir-faire et l'expérience qu'ils ont accumulés sur les plans technique et organisationnel pour faire profiter des bienfaits des techniques nucléaires les agriculteurs et les consommateurs.

Bien des choses ont changé depuis 1965, date à laquelle cette collaboration a été instituée. Premièrement, les pays que le partenariat avait pour objet de desservir ont connu des bouleversements – souvent radicaux. La transition s'est caractérisée en particulier par la décentralisation des fonctions gouvernementales, par un exode massif des populations vers les zones urbaines, par une mondialisation croissante du commerce et des communications, et par une intensification des dispositifs réglementaires mondiaux et régionaux.

Ces tendances politiques, sociales et économiques ont et continueront d'exercer une influence sur chacun d'entre nous – en particulier sur ceux qui travaillent, directement ou indirectement, pour le secteur alimentaire et agricole. L'importance de ces facteurs peut être difficile à appréhender pour des personnes qui, dans des pays industrialisés, travaillent dans l'industrie, le commerce, voire le secteur public et bénéficient de plus en plus souvent de produits alimentaires abondants et peu onéreux provenant de l'agriculture mondiale. Or, pour la vaste majorité de la population mondiale – habitants de pays en développement, où le secteur agricole fournit les aliments, les matières premières, les emplois et les revenus essentiels à la vie quotidienne –, ils sont une source de préoccupations considérables.

Ils sont aussi une source de préoccupation pour les gouvernements, qui admettent de plus en plus que sans amélioration du secteur alimentaire et agricole – moteur du développement durable –, il est difficile de lutter contre la faim et la pauvreté, de développer les secteurs non agricoles, ou d'améliorer l'offre de services publics à la population.

Ces considérations ont, à leur tour, incité à s'interroger sur la façon dont le système des Nations Unies pourrait aider les pays, collectivement et individuellement, à promouvoir le développement par l'agriculture d'une façon qui garantisse l'équité sur le plan de l'accès à la nourriture, et soit économiquement et écologiquement durable.

Ce débat a culminé avec la tenue, en 1996, du Sommet alimentaire mondial organisé à Rome par la FAO. Ce sommet s'est déroulé avec, en toile de fond, plus de 840 millions d'individus – soit 20% de la population des pays en développement – souffrant de faim ou de malnutrition, et la perspective de voir la population mondiale augmenter d'environ 80 millions habitants par an dans un proche avenir. Il a non seulement sensibilisé l'opinion mondiale aux écarts inacceptables et de plus importants relevés en matière de sécurité alimentaire entre les pays industrialisés et la plupart des pays en développement mais aussi – fait plus important – posé, par l'intermédiaire de son plan d'action, les fondements d'une promotion de la sécurité alimentaire pour tous.

Selon ce plan d'action, c'est aux pays eux-mêmes qu'il incombe d'obtenir des résultats. Il y est souligné le rôle que doivent jouer les institutions des Nations Unies en facilitant, par l'offre d'orientations, l'élaboration d'instruments internationaux appropriés et en soutenant le renforcement des moyens régionaux et nationaux d'exécution et de suivi des programmes agricoles. Il y est également reconnu l'importance de la recherche agronomique, du développement de l'agriculture et de l'enseignement agricole. Ces éléments doivent être pris en compte non seulement pour améliorer et transférer les connaissances et les techniques proprement dites, mais également pour développer et promouvoir la mise en œuvre d'instruments, de normes et de politiques internationaux, régionaux et nationaux fondés sur données scientifiquement rationnelles.

M. Dargie est directeur de la Division mixte AIEA/Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO).

TECHNIQUES NUCLÉAIRES EN PERSPECTIVE

Les techniques nucléaires sont principalement des outils de recherche qui contribuent, en fin de compte, à accélérer le développement. Elles ne doivent pas être considérées comme une fin en soi, mais plutôt comme un complément d'autres techniques permettant de comprendre et de résoudre des problèmes.

La question essentielle à laquelle doivent répondre les systèmes nationaux de recherche agronomique et les responsables gouvernementaux est la suivante : pourquoi avons-nous besoin des techniques nucléaires – ne pouvons-nous pas nous en passer ? La réponse dépend de la nature du problème. Invariablement, en effet, le problème peut être résolu sans recourir aux applications nucléaires. Parfois, cependant, elles sont nécessaires si l'on veut obtenir un résultat satisfaisant. Les techniques nucléaires, lorsqu'on les utilise, doivent être intégrées à des techniques non nucléaires (ou classiques) si l'on veut obtenir un résultat réellement intéressant, et leur utilisation doit reposer sur une solide base de recherches et de connaissances.

Du point de vue du Programme mixte FAO/AIEA, il est donc essentiel d'adopter une démarche hautement sélective et axée sur les résultats. Le Programme a pour vocation de proposer des services techniques aux agriculteurs et aux consommateurs des États membres de l'AIEA et de la FAO. Les applications nucléaires ne sont encouragées que lorsqu'elles sont indispensables pour mieux comprendre ou résoudre un problème stratégique et largement reconnu faisant obstacle au développement agricole, et non pour encourager une recherche ayant des perspectives limitées d'application pratique dans un proche avenir. On se refuse à mettre en avant les techniques nucléaires comme une fin en soi afin de faire en sorte que le Programme et ses promoteurs conservent leur pertinence et leur crédibilité auprès des milieux scientifiques et politiques.

La pertinence et la crédibilité du Programme reposent sur sa connaissance des priorités intergouvernementales et internationales en matière de recherche et de développement. Celles-ci sont formulées au sein de la FAO elle-même et du Groupe consultatif pour la recherche agricole internationale, organe que la FAO cofinance avec la Banque mondiale et d'autres bailleurs de fonds. En outre, le Programme reçoit régulièrement, des systèmes nationaux de recherche agronomique, des informations qui l'aident à maintenir le cap sur des questions et problèmes mondiaux et régionaux revêtant une importance stratégique, et à répondre aux besoins et priorités des pays.

Le présent article passe en revue les résultats de projets de la Division mixte FAO/AIEA qui ont contribué au développement de l'alimentation et de l'agriculture. Dans certains domaines, il actualise des rapports précédemment publiés concernant les activités de la Division et du Laboratoire FAO/AIEA d'agronomie et de biotechnologie, qui soutient le Programme mixte*. L'article porte en particulier sur trois des questions stratégiques clés désignées à l'attention des gouvernements lors du Sommet alimentaire mondial et, plus tôt, à la Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement en 1992. Chaque question peut être traitée efficacement grâce aux techniques nucléaires soutenues par d'autres techniques, par les infrastructures nationales, et par un environnement politique et économique favorable.

PRODUCTION VÉGÉTALE ET ANIMALE

Satisfaire les besoins alimentaires des populations de plus en plus nombreuses des pays en développement représente un formidable défi, qu'il faut relever en tenant compte des niveaux encore faibles de consommation par habitant et des préférences alimentaires changeantes de sociétés de plus en plus urbanisées. La solution consistera à maintenir une forte croissance à la fois des denrées alimentaires de base et des produits végétaux et animaux à valeur élevée, et ce de façon à contrer la concurrence mondiale croissante qui caractérise ces aliments et produits.

Pour relever ce défi, il faut aussi veiller à ce que l'intensification et la diversification s'opèrent de façon bénéfique. Elles doivent garantir que les biens et services publics essentiels fournis par l'agriculture – sol, eau, ressources génétiques végétales et animales – seront disponibles durablement, et que les autres intrants essentiels nécessaires – engrais et pesticides, par exemple – ne pollueront pas l'environnement ou ne laisseront pas de niveaux inacceptables de résidus dans les produits.

Trois autres considérations doivent être gardées à l'esprit. Premièrement, la plupart des pays ne possèdent tout simplement pas de terres supplémentaires où produire des aliments, des cultures ou du bétail de façon industrielle. Deuxièmement, dans de nombreux pays, la terre est de plus en plus atteinte par l'érosion des sols, la salinisation ou l'acidification, qui réduisent son potentiel de production. Troisièmement, les ressources

Voir, par exemple, "Les techniques nucléaires au service de l'alimentation et de l'agriculture : 1964-1994", Bjoern Sigurbjoernsson et Peter Vose, Bulletin de l'AIEA, Vol. 36, n° 3 (Septembre 1994).

génétiques végétales et animales dont dépend la production agricole et alimentaire s'érodent rapidement du fait de l'adoption généralisée de quelques variétés et races à haut rendement.

Il est nécessaire d'inverser ces tendances par des politiques et des techniques favorisant la conservation et l'usage rationnel des sols, de l'eau et des ressources génétiques si l'on veut satisfaire les besoins immédiats et à long terme en matière de production et de sécurité alimentaires, et maintenir la cohésion sociale.

L'intérêt des techniques nucléaires, dans ce domaine, réside avant tout dans leur sensibilité et leur spécificité uniques en tant que marqueurs. Elles peuvent servir à mesurer – plus précisément que les méthodes classiques – les processus élémentaires mais essentiels qui se déroulent dans et entre les sols, les plantes et les animaux, et qui régissent l'utilisation et la conversion des ressources en produits utiles. Deuxièmement, l'intérêt des applications nucléaires réside dans leur aptitude à provoquer des changements dans la composition génétique des plantes.

Ces outils permettent donc de mesurer des niveaux d'éléments et de molécules biologiquement importants et, partant, des processus revêtant une importance pour l'agriculture. Ils permettent également de détecter ou de modifier ce qui se passe pendant ces processus, et d'étudier la fréquence de ce qui se produit lorsqu'on introduit des changements sur le plan de la gestion des ressources et/ou de la génétique. Un autre avantage est qu'ils offrent un vaste potentiel pour ce qui est d'améliorer la diversité des plantes cultivées.

Tout cela est, bien entendu, très intéressant. Mais en quoi cela aide-t-il à améliorer la productivité des cultures et de l'élevage ou à lutter contre des problèmes tels que la salinité ou l'érosion des sols ou, d'ailleurs, favorise-t-il la conservation et l'utilisation rationnelle des ressources génétiques végétales et animales ?

Sans entrer dans tous les détails techniques, la réponse consiste à utiliser ces différents attributs des techniques nucléaires à des fins distinctes.

Premièrement, elles peuvent permettre de mieux caractériser ce qui se passe dans les sols, les cultures et les animaux dans le cadre de certains systèmes de gestion. Ensuite, la même combinaison d'outils peut être utilisée pour suivre les effets d'interventions destinées à réduire ou à éliminer la contrainte en question. Enfin, et sous réserve de résultats positifs étayés par des essais pilotes, la meilleure pratique ou variété peut être évaluée par des décideurs en vue de son transfert effectif vers les utilisateurs et bénéficiaires finals.

On trouvera ci-après quelques exemples récents de cette approche, qui servent à illustrer comment les techniques nucléaires peuvent être utilisées non seulement pour accroître la production, mais aussi pour améliorer des éléments clés intrinsèques à un développement durable de la production alimentaire et agricole.

■ **Rendement de l'utilisation de l'eau et des engrais en Asie occidentale.**

Le problème : La plupart des pays en développement des régions semi-arides connaissent de graves pénuries d'eau et les engrais azotés sont onéreux. La demande de cultures alimentaires et industrielles de valeur plus élevée augmente du fait de l'urbanisation rapide, de même que la nécessité de promouvoir des emplois extra-agricoles locaux pour développer l'accès aux marchés des aliments et des produits de base.

La méthode : Aider les systèmes nationaux de recherche agronomique et les agriculteurs participants à utiliser des sondes hygrométriques à neutrons et des engrais marqués à l'azote 15 pour identifier, tester et développer les techniques et pratiques de gestion qui conduisent à une utilisation plus efficiente de l'eau et des engrais azotés dans les cultures. Cette activité a principalement consisté à déterminer les avantages d'un apport d'eau et d'urée par irrigation au goutte à goutte (irrigation fertilisante) par rapport à la pratique traditionnelle de l'irrigation par rigoles et de l'application d'urée en ligne.

Les résultats : La quantité d'eau utilisée pour cultiver le coton pendant la saison a été de 4900 mètres cube par hectare (m^3/ha) avec l'irrigation au goutte à goutte contre 7600 m^3/ha avec la méthode traditionnelle d'application en surface, ce qui représente une économie de 36%. Le rendement de l'eau utilisée pour produire de la biomasse végétale a presque doublé grâce à l'irrigation au goutte à goutte. De surcroît, la quantité de graines de coton récoltées par irrigation fertilisante a été de 22% supérieure à celle obtenue par les méthodes traditionnelles de fumure et d'irrigation. L'irrigation fertilisante s'est donc révélée très efficace pour maintenir ou augmenter le rendement des cultures tout en conservant l'eau et les engrais azotés.

■ **Production de légumineuses à grains au Bangladesh.**

Le problème : Les légumineuses à grains (lentilles, pois chiches, arachide, haricot velu et fève de soja) font partie intégrante de l'alimentation quotidienne au Bangladesh. La production satisfait environ 90% de la demande locale, le manque étant comblé par l'importation. Il est nécessaire d'augmenter la production sur les exploitations existantes si l'on veut améliorer la sécurité alimentaire et économiser les devises étrangères.

Photo : Coton cultivé par irrigation fertilisante en Asie occidentale.

La méthode : Recours à la dilution d'isotopes d'azote 15 pour identifier les souches de rhizobium optimales pouvant servir d'inoculum ainsi que des génotypes de légumineuses ayant un potentiel de rendement élevé et une bonne aptitude à fixer l'azote. Renforcement de l'aptitude des pays à produire et à contrôler la qualité des inoculums et à faire valoir ces techniques auprès des services de développement et des agriculteurs.

Les résultats : Des études menées à l'échelle du pays ont démontré la possibilité d'accroître la production de légumineuses à grains par l'inoculation et la sélection de génotypes ; il a été créé une usine pilote de production à grande échelle et de contrôle de qualité d'inoculums ; et l'application généralisée de cette technique devrait permettre d'augmenter de 25% la production des légumineuses de base et, partant, d'économiser sur les importations, y compris les engrais.

■ **Diagnostic d'érosion des sols.**

Le problème : L'érosion des sols fait peser une grave menace sur la sécurité alimentaire mondiale. Or, l'adoption de mesures de lutte efficaces par rapport au coût au niveau tant des exploitations que des paysages est entravée par des méthodes inadéquates et généralement onéreuses. Un outil de diagnostic qui pourrait être appliqué facilement et de façon universelle permettrait de mettre en avant de meilleures stratégies de conservation des sols.

La méthode : Mise en place, au sein des systèmes nationaux de recherche agronomique de pays caractérisés par divers climats et paysages, de moyens permettant d'utiliser la répartition spatio-temporelle de radionucléides artificielles et naturelles telles que le césium 137 pour estimer les taux de redistribution des sols. Comparaison des résultats avec ceux obtenus par les méthodes existantes pour déterminer le potentiel offert par la méthode nucléaire.

Les résultats : Le césium 137 offre un moyen fiable de mesurer l'érosion et la sédimentation des sols à l'échelle d'un paysage. Cette méthode est maintenant utilisée pour aider les décideurs à sélectionner les méthodes et techniques permettant le mieux de conserver les sols et l'eau.

■ **Culture du sorgho au Mali.**

Le problème : Le sorgho est la deuxième culture vivrière du Mali, où elle est pratiquée sur 560 000 hectares avec un rendement moyen de seulement 980 kg/ha. De nouvelles variétés de sorgho à rendement plus élevé, utilisant un matériel génétique local, sont nécessaires pour améliorer la production alimentaire et préserver la biodiversité pour les futures générations. Puisque les agriculteurs souhaitent également des plantes à grandes tiges pour nourrir le bétail et construire des silos à grain et des auvents d'ombrage, un autre défi consiste à répondre à ce besoin.

La méthode : Aider le principal institut de phytogénétique du Mali à intégrer des méthodes de mutation aux programmes existants d'amélioration du sorgho. Les activités ont consisté à exposer du matériel local à des rayons gamma, à sélectionner les variations souhaitées, puis à tester les cultures sur le terrain dans différentes conditions agro-écologiques.

Les résultats : Huit mutants améliorés convenant à différentes régions de culture du sorgho au Mali sont maintenant inclus dans la liste des variétés recommandées aux agriculteurs par le Ministère de l'agriculture. Ces mutants ont un rendement potentiel de 2000 à 2500 kg/ha et mesurent entre 1,5 et 4,5 mètres de haut, avec de long panicules. Certains sont à maturation rapide ; d'autres ont une tolérance accrue à la sécheresse. Des graines ont été distribuées à 2000 agriculteurs en vue d'une validation élargie des rendements sur le terrain.

■ **Culture du pois chiche au Pakistan.**

Le problème : Le Pakistan est le troisième producteur mondial de pois chiches. Le pois chiche est une source importante et économique de protéines et d'hydrates de carbone et fait partie intégrante de l'alimentation quotidienne. Chaque année, il est cultivé plus d'un million d'hectares, mais les rendements sont très faibles, d'environ 600

kg/ha. L'un des principaux obstacles à une amélioration des rendements est la susceptibilité des cultures aux maladies fréquentes que sont la graisse du pois chiche et la fusariose.

La méthode : Aider l'Institut nucléaire d'agriculture et de biologie (NIAB) a mettre en œuvre un programme d'amélioration génétique visant à induire, par des mutations, une résistance du pois chiche aux maladies.

Les résultats : Le projet a abouti à la production de la première variété mutante de pois chiche à haut rendement – connue sous le nom de "CM-72", qui résiste à la graisse du pois chiche. Les rendements obtenus dans la province de la Frontière du Nord-Ouest sont maintenant supérieurs de 45% à la moyenne des cinq années précédentes. Depuis, il a été produit une autre variété mutante, le "CM-88", qui résiste aux deux maladies et offre donc un autre moyen de résistance aux cultivateurs de pois chiches. Les deux variétés mutantes couvrent 70% des zones de culture du pois chiche au Pakistan.

■ **Petites entreprises laitières d'Asie et d'Amérique latine.**

Le problème : La demande de produits d'élevage augmente rapidement dans de nombreux pays en développement du fait de l'urbanisation et de la croissance des revenus. Le lait et ses produits dérivés offrent d'importantes possibilités d'emplois extra-agricoles et une meilleure sécurité alimentaire.

La méthode : Aider les petits producteurs et les services d'insémination artificielle à tirer meilleur parti, au moyen d'isotopes et de radio-immunodosages hormonaux, du bétail issu de croisements alternatifs ; et à définir, compte tenu des ressources locales, des régimes alimentaires répondant à la fois aux besoins nutritionnels accrus de ces animaux et aux exigences spécifiques liées à leur prise en charge reproductive et zootechnique.

Les résultats : Des aliments d'appoint connus sous le nom de cubes urée-mélasse-multinutriments et des formules apparentées tirant parti d'ingrédients locaux ont fait la preuve de leur efficacité par rapport au coût pour améliorer la productivité tout en préservant et en utilisant durablement les ressources naturelles. En Asie, environ 1600 tonnes de ces cubes sont actuellement servis à 25000 animaux appartenant à quelque 6000 exploitants. Les rendements laitiers ont augmenté en moyenne de 20% tandis que le coût de l'alimentation animale a diminué de trois fois.

De même, en Amérique latine, la fourniture d'aliments d'appoint s'est soldée par une meilleure utilisation des aliments fibreux disponibles. Elle a permis aux agriculteurs de certains pays d'élever quatre fois plus d'animaux que cela n'était possible auparavant par unité de savane.

Le rendement reproductif s'est aussi considérablement amélioré, si bien que les agriculteurs envisagent de plus en plus d'augmenter encore la productivité en améliorant les races par l'insémination artificielle. Il est clair, cependant, qu'en mesurant la progestérone dans le lait, les éleveurs manquent entre 30 et 50% des périodes de chaleur des vaches. Sur les périodes détectées, entre 15 et 20% sont probablement incorrectes. Les améliorations apportées en matière de détection des chaleurs, de programmation des accouplements et d'efficacité globale des services d'insémination artificielle ont réduit d'un à trois mois les intervalles entre vêlage et conception. Cela a permis d'obtenir davantage de lait et de veaux par vache et une augmentation de 10 à 30% des revenus des propriétaires. En outre, la réduction du nombre d'inséminations artificielles pratiquées à des moments inappropriés a permis d'économiser les ressources de ces prestataires de services, qui sinon auraient été gaspillées.

INSECTES RAVAGEURS ET MALADIES, FLÉAUX TRANSFRONTALIERS

À mesure que l'agriculture et l'élevage s'intensifient et se diversifient, certains risques augmentent : risques de perte et d'atteinte à la qualité des produits liés aux insectes ravageurs et aux maladies qu'ils transmettent, ainsi qu'à diverses autres maladies transmises au bétail par des virus, des bactéries et des parasites.

En outre, certains de ces insectes ravageurs de cultures et plusieurs des maladies virales et autres du bétail (connues sous le nom de "Liste A") font l'objet de mesures rigoureuses de quarantaine internationalement acceptées. Ces mesures sont prises en vertu de la Convention internationale pour la protection des végétaux administrée par la FAO et du Code zoosanitaire international de l'Office international des épizooties (OIE), qui sont acceptés par l'Organisation mondiale du commerce (OMC) comme étant les normes de commerce international applicables au titre de l'Accord sanitaire et phytosanitaire (ASP) négocié dans le cadre du cycle de négociations d'Uruguay.

Plusieurs facteurs font qu'il devient indispensable et urgent de trouver des solutions. L'un d'entre eux est le risque de propagation transfrontalière de ces ravageurs et maladies. Ce risque est renforcé par l'intensification du mouvement des produits et du bétail, la tendance à une intensification du recours aux pesticides, et le risque de niveaux

inacceptables de résidus et de dommages causés aux plantes, aux animaux et au patrimoine génétique des insectes. Les recherches s'orientent vers des méthodes plus intégrées, biologiquement rationnelles et localisées de lutte contre les ravageurs et les maladies, capables, autant que possible, de conduire à l'éradication.

Le rôle des techniques nucléaires, dans ce domaine, s'est considérablement développé ces dernières années. On utilise, par exemple, des rayonnements ionisants pour stériliser sans modifier par ailleurs le comportement des insectes ravageurs, qui sont ensuite relâchés en grands nombres pour contrôler ou éradiquer des populations sauvages (technique dite de l'insecte stérile). On utilise également des radio-isotopes pour mettre au point des tests spécifiques (tels que le dosage immuno-enzymologique, dit ELISA) nécessaires pour diagnostiquer et surveiller l'efficacité de programmes de vaccination contre les principales maladies qui entraînent des pertes de cheptel dans les pays en développement et entravent le commerce.

Photo : Dans le cadre de la campagne d'éradication menée à Zanzibar, un centre de production de mouches tsé-tsé a été mis en place à Tanga.

On trouvera ci-après des exemples de progrès accomplis récemment :

■ **Éradication de la mouche méditerranéenne des fruits en Amérique latine.**

Le problème : Le Chili et l'Argentine figurent parmi les principaux producteurs mondiaux de fruits de climat tempéré. L'introduction accidentelle de la mouche méditerranéenne des fruits en Amérique latine au début des années 90 a contraint les cultivateurs à éliminer les variétés de fruits les plus atteintes par le ravageur et à entreprendre des traitements réguliers à l'insecticide pour pouvoir vendre des fruits indemnes. Néanmoins, les principaux pays importateurs de fruits qui sont exempts de ce ravageur exigent que les fruits soient soumis, après la récolte, à des traitements onéreux, faute de quoi ils placent les fruits en quarantaine par peur d'épidémies liées à la présence de la mouche dans les chargements commerciaux.

La méthode : Aider le Service chilien de l'agriculture à mettre en œuvre un programme d'éradication par la technique de l'insecte stérile en construisant un centre d'élevage en masse de mouches méditerranéennes des fruits ayant une capacité de production d'environ 60 millions de mouches stériles par semaine, et faciliter la libération de mouches stériles par voie aérienne. Aider également l'Argentine à construite un centre d'élevage ayant une capacité de production hebdomadaire de plus de 200 millions de mouches stériles et lancer un programme d'éradication dans les provinces de Rio Negro, Nequen et Medoza.

Les résultats : L'éradication a été obtenue au Chili et le pays est désormais internationalement reconnu comme étant exempt de la mouche méditerranéenne des fruits. Ce statut a considérablement favorisé le développement de son industrie, qui exporte plusieurs milliards de fruits. En Argentine, la production de fruits de climat tempéré s'est considérablement améliorée sur le plan tant de la quantité que la qualité, les applications d'insecticide ont diminué dans les vergers commerciaux, et plusieurs vallées de production de fruits sont maintenant reconnues par le Chili voisin comme étant exemptes de mouche. En 1999, le Chili a autorisé les industries fruitières des provinces de Mendoza et de Patagonie à utiliser ses ports pour exporter leurs fruits.

■ **Lutte contre la mouche méditerranéenne des fruits en Israël et en Jordanie.**

Le problème : La mouche méditerranéenne des fruits peut entraîner d'importantes pertes de production de légumes dans la vallée de l'Arava (Israël et Jordanie), sa présence empêchant d'accéder à des marchés d'exportation lucratifs. Le coût de l'épandage d'insecticide dans les cours et dans les zones agricoles est élevé et les applications continues d'insecticide posent d'importants problèmes écologiques.

La méthode : Aider les autorités chargées de la protection des cultures et les cultivateurs de ces pays à lutter contre la mouche méditerranéenne des fruits en intégrant la technique de l'insecte stérile aux méthodes traditionnelles en utilisant des mouches stériles importées du Guatemala.

Les résultats : Les populations de mouche méditerranéenne des fruits ont considérablement diminué dans toutes les exploitations, de même que les quantités de fruits et de légumes infestés par les larves. Par ailleurs, les quantités d'insecticide employées ont fortement diminué, les mouches stériles remplaçant les

épandages. Le volume et la valeur des exportations ont augmenté de façon exponentielle. En supposant que la vallée de l'Arava devienne exempte de mouches méditerranéennes des fruits, les producteurs vont pouvoir développer et diversifier leurs cultures en tirant avantage de l'absence de pesticides et de ravageurs pour proposer des poivrons et des tomates sur les marchés mondiaux.

■ **Éradication de la mouche tsé-tsé à Zanzibar.**

Le problème : La maladie connue sous le nom de trypanosomiase touche le bétail et les humains dans la majeure partie des 10 millions de kilomètres carrés de l'Afrique subsaharienne. Elle est transmise par près de 30 espèces de mouche tsé-tsé et représente, dans de nombreuses régions, un obstacle majeur à l'établissement d'exploitations agricoles viables. Il n'est pas possible de vacciner le bétail contre la maladie, et l'on n'en finit pas de lutter contre les mouches et la maladie au moyen d'insecticides et de médicaments. L'éradication est une solution à long terme. Pour déterminer sa faisabilité technique, il fallait réaliser une démonstration à l'échelle d'une région en intégrant la technique de l'insecte stérile à l'emploi d'insecticides.

La méthode : Le site retenu pour le projet de démonstration a été l'île de Zanzibar (1500 km^2), où prévalait l'une des espèces de la mouche. Un centre destiné à produire environ un million de tsé-tsé femelles a été mis sur pied à l'Institut de recherche sur la mouche tsé-tsé et la trypanosomiase de Tanga (Tanzanie) et, sur une période de 18 mois, environ 60000 mâles stériles ont été relâchés chaque semaine sur l'île.

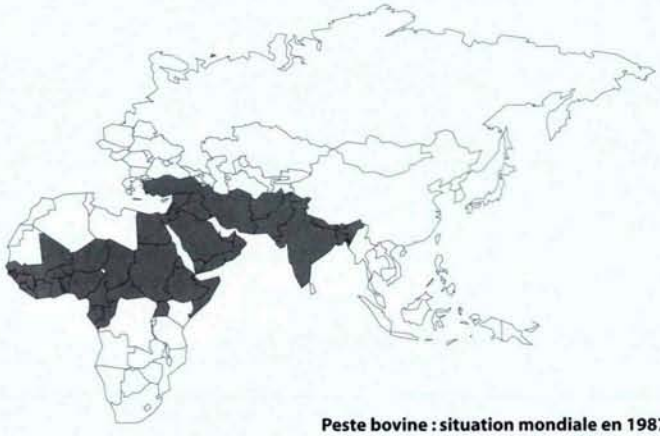
Les résultats : La surveillance intensive des mouches et du bétail a confirmé que la mouche tsé-tsé et la maladie avaient été éradiquées de Zanzibar. Ce résultat permet d'envisager l'introduction généralisée, sur l'île, de races de bovins plus productives.

■ **Éradication mondiale de la peste bovine**

Le problème : La peste bovine est sans doute la plus dévastatrice de toutes les maladies bovines. En 1986, on s'est fixé pour objectif de l'éradiquer, ainsi que le virus qui en est à l'origine, dans le monde entier d'ici à 2010. On disposait d'un vaccin qui avait fait ses preuves. Il restait cependant à mettre au point une méthode fiable et internationalement acceptée permettant de diagnostiquer rapidement la maladie et de tester les importantes quantités de prélèvements sanguins transmis aux centres d'étude vétérinaires pour contrôler l'efficacité des campagnes de vaccination de masse et, au besoin, les réorienter.

La méthode : Aider les autorités vétérinaires à mettre au point une épreuve d'immunodosage rapide, simple et normalisée ainsi que les stratégies et moyens permettant de l'appliquer pendant des campagnes de vaccination de

PESTE BOVINE : SITUATION MONDIALE EN 1987 ET EN 2000



Peste bovine : situation mondiale en 1987

Peste bovine : situation mondiale en 2000

masse. Ensuite, de recenser les poches restantes et de contrôler l'absence, au niveau national, de la maladie et de l'infection.

Les résultats : Les données obtenues à l'aide de l'épreuve ont permis d'évaluer sur le plan quantitatif les programmes de vaccination et les activités de surveillance mises en œuvre par la suite, autorisant à penser que seuls sept pays restent infectés contre plus de 30 en 1986. Il est fort probable que l'objectif de l'éradication mondiale sera atteint dans les délais.

■ **Lutte contre la fièvre aphteuse et éradication de cette maladie en Amérique latine et en Asie.**

Le problème : Ces 60 dernières années, la fièvre aphteuse a représenté le principal obstacle non tarifaire au commerce du bétail, et des efforts considérables ont été déployés pour lutter contre cette maladie ou pour l'éradiquer. Pour cela, il est indispensable de disposer d'un diagnostic efficace et rapide permettant d'orienter les activités de vaccination et de vérifier que les animaux et les régions sont exempts de fièvre aphteuse.

La méthode : Aider les laboratoires vétérinaires nationaux à mettre au point et à appliquer le test ELISA tant pour obtenir un diagnostic rapide et précis que pour distinguer les animaux vaccinés des animaux naturellement infectés. Cette activité est indispensable dans les régions ou pays s'orientant vers une reconnaissance internationale d'exemption de la maladie.

Le résultat : Le Chili, l'Uruguay et certaines régions de l'Argentine et du Brésil sont maintenant internationalement certifiés exempts de la fièvre aphteuse. De nombreux autres pays d'Amérique latine et d'Asie mettent en œuvre d'importants programmes d'éradication bénéficiant de l'application de ces indispensables épreuves d'immunodosage.

QUALITÉ ET INNOCUITÉ DES PRODUITS ALIMENTAIRES

Pour garantir la sécurité alimentaire, il ne suffit pas de produire des aliments et des cultures industrielles, ni d'élever du bétail et de le protéger des ravageurs et des maladies. Il faut aussi réduire les pertes beaucoup trop élevées qui se produisent après la récolte ou l'abattage, et faire en sorte que les produits qui parviennent aux consommateurs soient sains, de qualité, et ne présentent pas de risques inacceptables pour la santé des plantes et des animaux.

Plusieurs évolutions ont focalisé l'attention sur les problèmes de qualité et d'innocuité des produits alimentaires. Les pays en développement intensifient et diversifient leur production, une population de plus en plus importante migre vers les grands centres urbains, et les possibilités de commerce se développent. Ces évolutions accroissent les risques de détérioration des aliments et les risques pour la santé humaine liés aux micro-organismes pathogènes, aux pesticides et aux résidus de médicaments vétérinaires. Elles font également peser, sur la santé des plantes et des animaux, des risques liés aux insectes ravageurs et aux agents pathogènes, risques qui font l'objet de mesures internationales de quarantaine.

Les mesures visant à assurer la qualité et l'innocuité des produits alimentaires et la protection des plantes et des animaux sont, dans tous les pays, des éléments essentiels de la protection des consommateurs et des agriculteurs. Pour les pays qui souhaitent aborder les marchés mondiaux ou y renforcer leur position, ces éléments revêtent une importance croissante depuis la création de l'OMC et la conclusion des accords relatifs aux mesures sanitaires et phytosanitaires et aux obstacles techniques au commerce. Ces accords fixent, pour l'essentiel, les conditions préalables au commerce. Ils sont étayés par les normes techniques établies par la Commission du Codex Alimentarius (FAO/OMS), la Convention internationale pour la protection des végétaux administrée par la FAO et le Code zoosanitaire international de l'OIE.

L'une des rares techniques utilisées pour résoudre ces problèmes est l'irradiation des aliments. Elle permet de lutter contre la détérioration des aliments, les micro-organismes pathogènes d'origine alimentaire et les insectes ravageurs sans compromettre de façon importante les attributs sensoriels et autres des produits alimentaires.

En outre, les méthodes d'analyse nucléaire – chromatographie en phase gazeuse par capture d'électrons, fluorescence des rayons X et radio-immunodosage couplés à l'utilisation de composés isotopiquement marqués – sont des éléments essentiels de l'arsenal utilisé par les organismes de contrôle alimentaire. Ces organismes utilisent ces outils pour analyser des échantillons d'aliments afin de vérifier leur conformité aux normes du Codex et d'améliorer les méthodes d'échantillonnage et d'analyse.

Ces dix dernières années, d'importants progrès ont été accomplis dans différents domaines :

■ **Lutte contre les maladies d'origine alimentaire.**

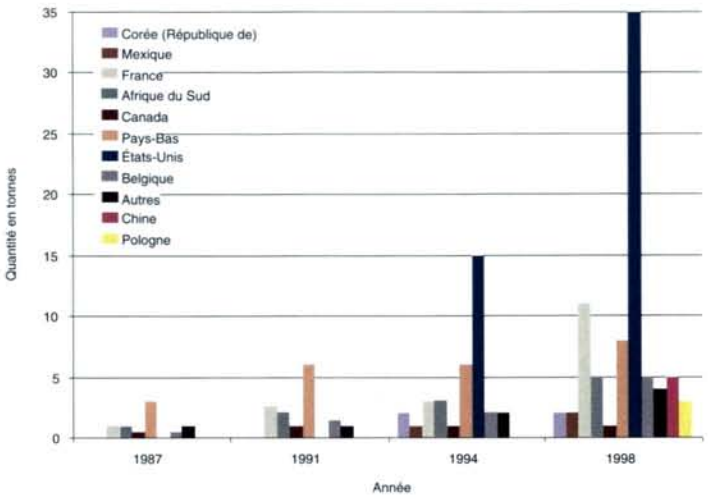
Le problème : L'incidence généralisée et croissante des maladies d'origine alimentaire causées par des bactéries et des parasites pathogènes et leur impact socio-économique sur la population humaine ont fait de l'innocuité des produits alimentaires d'une des premières préoccupations des autorités sanitaires. Dans le monde, des centaines de millions d'individus

sont atteints de maladies causées par des aliments contaminés. Les ravages, sur le plan de la santé humaine, sont énormes, en particulier chez les nourrissons, les jeunes enfants, les personnes âgées et les autres groupes vulnérables.

La méthode : Aider les laboratoires de contrôle alimentaire à produire des données permettant de déterminer l'efficacité de l'irradiation dans la lutte contre les différents agents pathogènes présents dans des aliments tels que la viande, les volailles, les fruits de mer et les épices.

Les résultats : de nombreux pays, dont le Brésil, la Belgique, le Canada, la Chine, le Chili, la France, le Mexique, les Pays-Bas, l'Afrique du Sud, la Thaïlande et les États-Unis, utilisent l'irradiation pour lutter contre les bactéries et parasites pathogènes présents dans plusieurs produits alimentaires. Plusieurs irradiateurs commerciaux importants sont en construction, notamment aux États-Unis, pour traiter les aliments d'origine animale. L'irradiation est largement utilisée pour assurer la qualité hygiénique de quantité croissantes d'épices et d'assaisonnements (*voir graphique*).

QUANTITÉS ESTIMATIVES D'ÉPICES ET D'ASSAISONNEMENTS IRRADIÉS



■ **Facilitation du commerce des fruits et légumes frais.**

Le problème : Les fruits et légumes frais provenant des pays en développement sont souvent infestés par des mouches du genre trypétidé et ne peuvent accéder aux marchés des pays développés qui appliquent des mesures rigoureuses de quarantaine pour se prémunir contre ces ravageurs. Les traitements de quarantaine traditionnels présentent des limites techniques et certains sont progressivement supprimés dans le monde pour des raisons écologiques.

La méthode : Produire des données sur l'utilisation de l'irradiation en tant que traitement de quarantaine contre les mouches des fruits et d'autres ravageurs importants des fruits et légumes. Faire évaluer ces informations de façon indépendante par le Groupe consultatif international sur l'irradiation des aliments pour obtenir un consensus international sur la faisabilité technique de cette application.

Les résultats : L'irradiation, en tant que traitement de quarantaine des fruits et légumes frais, est approuvée par les organisations régionales de protection des végétaux qui opère dans le cadre de la Convention internationale pour la protection des végétaux. Plusieurs pays, notamment les États-Unis et des membres de l'Association des nations de l'Asie du sud-est (ANASE), ont élaboré des politiques ou adopté des réglementations concernant cette technique. En 1995, une activité commerciale d'ampleur limitée a débuté aux États-Unis et une usine d'irradiation est en construction à Hawaii.

■ **Contaminants et résidus alimentaires.**

Le problème : Dans le contexte de la libéralisation du commerce mondial des produits alimentaires et agricoles, les aliments exportés par les pays en développement doivent être conformes aux normes de sûreté et de qualité énoncées dans les accords de l'OMC. Il faut donc aider les laboratoires nationaux de contrôle alimentaire des pays en développement à renforcer leurs moyens d'analyse des contaminants et des résidus présents dans les aliments destinés au commerce international.

La méthode : Établir, au sein des laboratoires de l'AIEA, un Centre de formation et de référence FAO/AIEA pour le contrôle des aliments et des pesticides chargé de proposer des activités de formation, des services d'assurance de la qualité et des informations sur les méthodes d'analyse utilisées pour mesurer les contaminants et les résidus. Y seraient formés les personnels des laboratoires nationaux de contrôle alimentaire. Le but est d'aider ces laboratoires à obtenir une accréditation nationale/internationale pour l'analyse des contaminants et résidus présents dans les aliments visés par les normes du Codex.

Les résultats : Plus de 100 employés de laboratoires de contrôle alimentaire ont été formés aux méthodes d'analyse et

d'assurance de la qualité applicables aux pesticides, aux résidus de médicaments vétérinaires et aux mycotoxines dans le cadre de cinq cours régionaux et interrégionaux organisés aux laboratoires de l'Agence à Seibersdorf ainsi qu'en Hongrie, en Suède, en République de Corée et en Thaïlande. La participation subséquente de stagiaires à des programmes d'évaluation des compétences a confirmé les avantages et la viabilité de la formation dispensée. L'intensification des communications grâce à un Système international d'information sur le contrôle des aliments et les résidus alimentaires montre l'intérêt que présente, pour les laboratoires de contrôle alimentaire, une offre d'informations synthétisées et objectives.

LES RÉCOLTES DE DEMAIN

Lorsque les gens pensent à l'agriculture, ils pensent souvent à la campagne et aux agriculteurs cultivant des plantes et élevant du bétail. Lorsqu'ils pensent aux sciences et techniques nucléaires, ils pensent souvent aux réacteurs nucléaires.

Rares sont ceux qui établissent un lien entre ces deux domaines. Or, la technologie des réacteurs et l'agriculture moderne ont essentiellement suivi, pendant la seconde moitié du XXe siècle, des voies comparables. Tous deux ont été soutenus par d'importants investissements destinés à mettre sur pied les moyens intellectuels et les infrastructures nécessaires à la recherche fondamentale et appliquée requise pour améliorer les connaissances, développer et créer des techniques, et fixer des règles et des normes.

La vaste majorité des pays n'ont pas bénéficié directement de l'énergie nucléaire. Toutefois, d'une façon ou d'une autre, nombre d'entre eux bénéficient du flux constant de nouveaux produits et des progrès réalisés grâce à la recherche-développement et aux études scientifiques.

Aujourd'hui, les agriculteurs, les transformateurs, les consommateurs et les pouvoirs publics bénéficient de pratiques, de techniques et de méthodes d'analyse qui utilisent les isotopes et les rayonnements ionisants – ou découlent de leur application – pour améliorer l'alimentation et l'agriculture. Bref, les investissements réalisés à l'appui de la recherche-développement dans les domaines nucléaire, biologique et agricole ont payé.

Au cours du demi-siècle écoulé, il s'est produit d'importants changements qui ont transformé les rapports existant entre les hommes et la terre. À l'aube du nouveau millénaire, ces changements posent des problèmes difficiles, qui appellent une coopération internationale efficace.

Le rôle primordial et essentiel de l'agriculture reste de produire des aliments et des biens primaires contribuant à la sécurité alimentaire. Ce rôle fondamental continue d'être le moteur du Programme mixte FAO/AIEA.

Il est tout aussi clair, cependant, que l'agriculture et la terre assument également des fonctions environnementales, économiques et sociales qui sont interconnectées. Certaines techniques et transformations peuvent présenter, à court terme, des inconvénients tels qu'une baisse de productivité, avant de produire, à plus long terme, des effets économiques et environnementaux. De nombreux changements, cependant, peuvent avoir l'effet inverse, menaçant à long terme le développement par une influence néfaste sur la fertilité des sols, la biodiversité et l'hygiène des aliments. Les institutions nationales, régionales et internationales doivent examiner tous ces facteurs pour faciliter, dans toute la mesure possible, l'affectation des ressources, la fixation de règles, l'élaboration de politiques et la prise de décisions.

Ces dernières années, le Programme mixte FAO/AIEA a de plus en plus incité les États membres à examiner ces questions. Pour pouvoir formuler et sélectionner des politiques et des pratiques, il est nécessaire de mieux comprendre les synergies et les compromis qui doivent s'opérer entre les différentes fonctions pour satisfaire les futurs besoins du secteur agricole et de l'ensemble de la société. Il faut également instituer une plus grande coopération interdisciplinaire au sein des systèmes nationaux de recherche agronomique et entre ces systèmes pour engager une recherche stratégique sur les problèmes immédiats et à plus long terme.

Dans le cadre de ce concept global de multifonctionnalité, le Programme mixte s'est activement employé à aider les pays à se conformer à certains des principaux textes – conventions, accords et normes – internationalement acceptés qui soutiennent de plus en plus l'amélioration de l'alimentation et de l'agriculture. On s'attache par conséquent davantage à renforcer les moyens d'application des techniques nucléaires dont disposent les pays pour leur permettre d'évaluer et de prendre en charge les risques environnementaux et alimentaires découlant de pratiques visant à améliorer la productivité. Ainsi, le Programme aide les pays et les institutions qu'il dessert non seulement à résoudre les problèmes qui entravent la production agricole, mais aussi à reconnaître et à résoudre les nouveaux problèmes qui risquent de compromettre la sécurité alimentaire mondiale en ce début du XXIe siècle. ❑

NUCLÉAIRE ET SOINS DE SANTÉ DES AVANTAGES DURABLES

STEFFEN GROTH

Les applications nucléaires, s'agissant des soins de santé, ont la réputation – consacrée par l'usage – d'être très efficaces par rapport aux coûts pour résoudre d'importants problèmes de santé tels que la malnutrition, le cancer, les maladies infectieuses et les troubles circulatoires. Aujourd'hui, elle offrent des avantages durables aux patients, aux médecins, aux chercheurs et aux agents de santé dans le monde entier.

De nombreuses applications nucléaires sont devenues si bien établies et documentées qu'elles sont préférées à d'autres méthodes. Cela s'explique par le fait qu'elles fournissent souvent des informations médicales uniques, ou figurent parmi les solutions les moins onéreuses à un problème.

Certaines applications – présentées initialement comme des techniques nucléaires – ont progressivement évolué en applications n'ayant en soi aucune composante "nucléaire" (par exemple, de nombreux radio-immunodosages systématiques ont par la suite évolué en dosages immuno-enzymologiques ou ELISA). Les raisons de cette évolution ont souvent été l'automatisation rapide et/ou la simplicité. Dans le même temps, cependant, robustesse et précision étaient souvent sacrifiées.

Les applications nucléaires, dans le domaine des soins de santé, se subdivisent grossièrement en applications *diagnostiques*, *thérapeutiques* et *préventives*. Le présent article décrit plusieurs applications efficaces et bien établies dans le contexte des nouvelles orientations qui se dessinent.

DIAGNOSTIC MÉDICAL

Les applications diagnostiques comprennent des méthodes *in vivo* et *in vitro*. Les applications *in vivo* se caractérisent par l'administration d'un radiopharmaceutique au patient et, généralement, par une détection externe subséquente à l'aide d'une gamma-caméra ou de quelque autre détecteur. Les applications *in vitro* consistent à analyser des échantillons prélevés sur le patient, le plus souvent des prélèvements de sang.

Applications in vivo. Les applications *in vivo* représentent une forme importante de médecine nucléaire. Ces procédures ont pour principal rôle d'évaluer le fonctionnement des organes. Des radionucléides ou des éléments marqués à l'aide de radionucléides sont administrés aux patients pour pouvoir évaluer certaines fonctions organiques en suivant la biorépartition dynamique de cet élément dans certains organes. On suit l'élément par détection externe du photon émis par les radionucléides en utilisant des instruments tels que des scanneurs rectilignes ou des gamma-caméras.

La principale caractéristique des procédures de médecine nucléaire *in vivo* est probablement que la quantité de radiopharmaceutiques nécessaire pour les études diagnostiques *in vivo* est très réduite et toujours de l'ordre de quantités physiologiques. Pour une scintigraphie thyroïdienne, par exemple, la quantité d'iode radioactive utilisée est plus de mille fois inférieure à la quantité d'iode absorbée quotidiennement avec les aliments. Elle n'a par conséquent aucune incidence mesurable sur la fonction thyroïdienne et aucun effet secondaire.

Par ailleurs, la dose radioactive reçue par le patient pour les scintigraphies est, dans la plupart des cas, négligeable. En règle générale, elle correspond environ, par examen, à la dose naturelle reçue pendant un an.

La méthode *in vivo* permet d'étudier plusieurs organes et systèmes. Ses principaux domaines d'application sont l'oncologie, l'endocrinologie, la cardiologie et la néphro-urologie. Les instruments et techniques nucléaires de diagnostic *in vivo* les plus largement utilisés forment une liste impressionnante (*voir encadré, pages 38 & 39*).

■ La ***scintigraphie osseuse*** est probablement la technique la plus couramment utilisée. Cette méthode est très efficace pour étudier le fonctionnement des os : toute lésion importante de l'os entraîne une augmentation du métabolisme osseux qui peut être détectée par la scintigraphie. Cette méthode est la façon la plus

M. Groth est directeur de la Division de la santé humaine de l'AIEA. Ont contribué au présent article M. Ajit Padhy, chef de la Section de médecine nucléaire de la Division ; M. Victor Levin, chef de la Section de radiobiologie appliquée et de radiothérapie ; M. Venkatesh Iyengar, chef de la Section des études de nutrition et d'écologie sanitaire ; M. Pedro Andreo, chef de la Section de dosimétrie et de radiophysique médicale ; et Mme Baldip Khan et M. Soo Ling Ch'ng, fonctionnaires de la Division.