



L'AIEA et la révolution verte

*Du laboratoire au champ,
le nucléaire apporte du nouveau*

par Björn Sigurbjörnsson et Leo E. LaChance

L'expression «révolution verte» ne s'appliquait à l'origine qu'à quelques variétés de céréales à haut rendement mises au point dans les années 60, cultivées, à grand renfort d'engrais et de pesticides; ce fut effectivement le début d'une révolution dans la production de denrées alimentaires, surtout en Asie. Du jour au lendemain, divers pays qui souffraient d'une pénurie chronique de denrées alimentaires ont produit des céréales en suffisance pour leurs besoins, ont accumulé d'importantes réserves et sont même devenus des exportateurs nets.

Un examen rétrospectif montre clairement que c'était là un nouvel essor agricole qui en deux décennies à peine opposait un démenti à ceux qui prophétisaient et prédisaient une pénurie générale de denrées alimentaires dans les années 70. En bien des points du globe il existe encore une grave malnutrition mais, en général, elle est souvent due à des catastrophes naturelles et à des facteurs politiques notamment, et ne résulte pas de l'absence d'une technique de production alimentaire. L'augmentation de la production dans ce domaine a en effet devancé la croissance démographique. Les progrès stupéfiants viennent essentiellement de la phyto-génétique et de l'agronomie.

Dès le début de cette révolution verte, les techniques nucléaires ont joué un rôle important en donnant une dimension nouvelle à la recherche et au développement agricoles qui, très souvent, s'est révélée capitale. La recherche axée sur les propriétés exceptionnelles des isotopes radioactifs et stables des éléments nutritifs des plantes et des animaux a fortement accéléré l'acquisition de connaissances sur la physiologie végétale et sur la nutrition des plantes cultivées. Elle a procuré une base

essentielle à tout progrès de l'agronomie et a enrichi notre connaissance de l'alimentation et de la reproduction des animaux, et facilité le diagnostic de leurs maladies. C'est là une condition préalable de l'augmentation de la productivité animale.

Les rayonnements ionisants se sont révélés extrêmement précieux pour accroître la variabilité génétique des plantes cultivées. Ils induisent des mutations tant nuisibles que bénéfiques, et permettent aux phyto-généticiens d'utiliser des gènes nouveaux et des variétés de plantes qui résistent aux maladies, s'adaptent mieux et rendent davantage.

Ils agissent de même pour provoquer la stérilité des insectes ravageurs, réduisant par là leur prolifération, et stérilisant ou détruisant les agents pathogènes et les organismes qui sont cause des maladies transmises par les aliments et de la détérioration des denrées.

Ainsi donc, seules ou en combinaison avec d'autres méthodes, les diverses techniques nucléaires ont contribué à cette révolution à chaque stade de la production des denrées alimentaires — eau, sol, semences, amélioration des plantes et des animaux, et enfin protection des aliments entreposés jusqu'à ce qu'ils arrivent sur la table du consommateur. Parallèlement, ces applications ont aidé la recherche sur la protection de l'environnement qu'appelle l'énorme progression de l'emploi de produits chimiques qui peuvent être nocifs.

La participation de l'Agence

Peu après sa création, en 1957, l'AIEA a recruté un agronome, qui a mis en route le programme agricole en concluant des contrats de recherche avec quelques-uns des utilisateurs les plus en vue des mutations phyto-génétiques radioinduites. Cinq années plus tard, le premier programme de recherche coordonnée fondé sur l'utilisation d'indicateurs isotopiques a été organisé pour aider les pays d'Asie producteurs de riz à employer les engrais plus rationnellement. D'autres programmes ont suivi qui ont fait connaître de meilleurs moyens

M. Sigurbjörnsson est directeur et M. LaChance directeur adjoint de la Division mixte FAO/AIEA de l'application de l'énergie atomique (isotopes et rayonnements) au progrès de l'agriculture et à l'alimentation.

Photo ci-dessus: L'orge radiomuté donne un épi court et dru aux grains serrés.

d'appliquer les engrais aux bons endroits et aux bons moments dans les champs de blé et de maïs, et finalement ont donné naissance à des programmes qui ont connu un grand succès en améliorant la fixation de l'azote par les légumineuses et les méthodes d'irrigation, grâce à des isotopes.

En 1964, des programmes d'entomologie, de zootechnie et de conservation des denrées alimentaires étaient en cours. Les activités de soutien des laboratoires de Seibersdorf sont devenues le véritable fondement des programmes agricoles de l'AIEA et, si l'on jette un regard sur le passé, ont été la clef du grand succès de ces programmes dans les pays en développement. (*Voir dans ce numéro l'article consacré aux laboratoires de Seibersdorf.*)

La même année, en 1964, le programme a fait l'objet d'une refonte qui allait se révéler essentielle pour son efficacité et son adéquation au développement de l'alimentation et de l'agriculture dans le monde entier. Il s'agissait de l'accord entre l'AIEA et l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) relatif à la création d'une division commune chargée de la totalité des activités de l'ONU dans ces domaines. L'AIEA a pu ainsi intervenir directement dans les travaux de recherche agronomique d'où est sortie la révolution verte. Nous ne donnerons ici que quelques exemples des réalisations des six sections qui composent la Division mixte FAO/AIEA.

La phytogénétique

La Section de l'amélioration des plantes et de la phytogénétique a mis au point des méthodes normalisées efficaces de traitement mutagène des semences et de parties de plantes, et aussi des méthodes pour évaluer les effets des rayonnements et isoler et tester les mutants prometteurs. Le manuel de sélection mutagénétique (FAO/AIEA *Mutation breeding manual*) a été utilisé par les sélectionneurs du monde entier au cours des 20 dernières années et a fortement contribué au grand succès des variétés mutantes de plantes cultivées.

L'apport exceptionnel des mutations induites à la révolution verte est leur aptitude à supprimer les

carences des variétés au rendement le plus élevé et les mieux adaptées. Les variétés supérieures nouvelles mises au point par mutagenèse vont directement au champ de l'agriculteur ou servent à d'autres programmes de sélection. Le résultat est notamment que les mutations induites sont portées par les génotypes de bon nombre des meilleures variétés d'orge cultivées en Europe, du blé dur (pasta) cultivé en Europe, du riz cultivé en Californie, et de quelques-unes des variétés de plantes les plus productives cultivées partout dans le monde en développement. Bien souvent, le traitement initial des semences par irradiation s'est fait aux laboratoires de Seibersdorf, les sélectionneurs ont été formés par l'AIEA et les variétés supérieures sont nées des travaux menés dans le cadre de contrats de recherche ou de projets de coopération technique de l'AIEA. Actuellement, près d'un millier de variétés de plantes issues de mutations radioinduites sont cultivées dans le monde sur plusieurs millions d'hectares. Si toutes les variétés ayant des mutants dans leur parenté étaient comptées, leur nombre pourrait atteindre des dizaines de millions. Les gains économiques se chiffrent en milliards de dollars par an.

Le sol et l'eau

Les isotopes sont le seul moyen direct de distinguer les éléments nutritifs des plantes venant du sol naturel de ceux fournis par les engrais. C'est ce qui permet d'évaluer le degré d'efficacité avec lequel les plantes utilisent une source d'éléments nutritifs, aux fins de recommander les meilleurs moyens de rationaliser l'emploi d'engrais coûteux et, parfois, d'obtenir une croissance maximale avec de très faibles quantités d'engrais.

A l'occasion d'un programme de recherche coordonnée auquel participent neuf pays en développement, on a pu constater que des engrais phosphatés marqués au phosphore 32 et épandus à la surface du sol de rizières, ou légèrement enfouis, apportaient deux fois plus de phosphore à la plante que s'ils étaient enfouis à dix centimètres de profondeur entre les lignes. On peut ainsi réduire la quantité d'engrais de plus de moitié sans perte de rendement.



Participants au cours de formation de 1977, organisé en Inde par l'AIEA, la FAO et l'Agence suédoise internationale pour le développement; l'amélioration du sorgho par mutation et sa meilleure résistance aux maladies ont suscité un vif intérêt.



Source essentielle de protéines dans l'alimentation de millions de personnes, les légumineuses ont été au cœur des programmes de l'Agence pour l'amélioration des plantes depuis 30 ans. Pour accroître la production de denrées alimentaires, environ 80 cultivars améliorés de 13 espèces différentes résultant de mutations radio-induites ont été donnés à des cultivateurs.

Les engrais marqués à l'azote 15, isotope stable, ont servi à montrer que l'épandage en profondeur (5 à 15 centimètres) des engrais azotés dans le sol donnait des absorptions plus élevées que l'épandage en surface. Les données émanant de 13 pays en développement ont indiqué une augmentation d'environ 32% par rapport à l'épandage en surface. Un pays participant qui a suivi les recommandations fondées sur ces résultats a signalé une économie de 30 millions de dollars des Etats-Unis en une seule année du fait d'une application réduite d'engrais azotés.

Des méthodes d'utilisation de l'azote 15 sur le terrain pour distinguer l'azote fixé biologiquement par les plantes de l'azote du sol ont été mises au point par la Section de la fertilité des sols, de l'irrigation et de la production agricole, et les laboratoires de Seibersdorf.

De grandes différences ont été constatées entre les espèces de légumineuses à graines quant à la capacité de fixer l'azote atmosphérique. Ainsi, alors qu'une variété de fève, *Vicia faba*, peut se procurer environ 70%, voire plus, de ses besoins en azote de cette façon, un autre type de légumineuse alimentaire commune à graines, *Phaseolus*, n'en tire qu'environ 30% au maximum. Un programme de recherche coordonnée a été ultérieurement lancé pour élever la fixation de l'azote par *Phaseolus* et certaines indications montrent que l'on pourra y parvenir. Une légère augmentation de l'azote fixé par cette légumineuse réduirait de beaucoup dans le monde les quantités d'engrais azotés utilisées.

Un pâturage en Uruguay donne un exemple des économies réalisables: l'addition de trèfle blanc a fait que le pâturage a fixé en six mois environ 120 kilos par hectare d'azote atmosphérique, ce qui équivaut à environ 250 kilos d'urée coûtant quelque 73 dollars des Etats-Unis.

Le cheptel

La plupart des pays en développement des régions tropicales et subtropicales connaissent une pénurie de produits d'origine animale, non seulement en raison d'un grave manque d'animaux, mais aussi parce que le

cheptel y produit beaucoup moins que celui des régions tempérées.

Les activités de la Section de la production et de la santé animales visent à accroître la productivité animale par l'amélioration de la nutrition, de la capacité reproductive et du dépistage des maladies dans les régions touchées. Une méthode présentée par cette section consiste à concevoir des stratégies d'alimentation supplémentaire: les sources locales peu coûteuses de plantes cultivées et les déchets biologiques (tels que la paille de maïs, la bagasse de canne à sucre, la farine de poisson, le fumier de volaille et la paille traitée à l'ammoniaque) et les sous-produits de l'agro-industrie (telle l'urée) sont inclus dans le régime alimentaire. Le cheptel reçoit une dose mieux équilibrée de matière sèche, d'énergie, de protéines, de minéraux et de vitamines de sorte que sa productivité s'améliore. L'adéquation de l'appoint d'aliments s'évalue *in vitro* au moyen de techniques isotopiques. Les matières d'appoint — identifiées à l'aide d'un indicateur radioactif tel que le carbone 14, le phosphore 32, l'iode 125, ou l'hydrogène 3 — passent dans un rumen artificiel, et leur action sur les produits de fermentation du rumen et les protéines microbiennes et de dérivations est évaluée avant les essais à la ferme. Cet examen préliminaire a permis d'accélérer les essais d'appoints nouveaux ou modifiés et de réduire considérablement les coûts.

Les radio-isotopes tels que l'hydrogène 3 et l'iode 125 ont aidé à identifier et à mesurer les hormones qui facilitent les études métaboliques en vue d'accroître la capacité de reproduction des animaux. Les isotopes ont servi à mettre au point les procédés de radioimmunoanalyse (RIA) et d'enzymoimmunoanalyse, qui sont parmi les moyens les plus efficaces de diagnostic courant en ce qui concerne les troubles de la reproduction, les besoins thérapeutiques, l'évaluation toxicologique et l'étude des résidus.

Le recours aux techniques nucléaires a eu un rôle important dans la formulation et la surveillance des hormones nécessaires au transfert de l'embryon, au sexage et autres améliorations du processus de reproduc-

tion. La mise au point de systèmes modernes d'élevage dans les pays tant développés qu'en développement a été ainsi grandement facilitée.

Les radio-isotopes et les rayonnements servent aussi au diagnostic et au traitement des maladies des animaux. La section a concouru à l'application des rayonnements pour la production de vaccins pour animaux. L'innovation la plus spectaculaire a été l'introduction de radiovaccins contre la strongylose, maladie parasitaire saisonnière qui, avant l'utilisation de ces vaccins, causait de fortes pertes parmi les jeunes animaux. Les millions de doses utilisées depuis quelque 15 ans témoignent de l'énorme intérêt de ces vaccins pour les éleveurs.

La lutte contre les insectes

La Section de la lutte contre les insectes et autres ravageurs s'occupe surtout d'aider les pays à mettre au point des applications de la technique de l'insecte stérile, méthode d'élimination efficace, peu coûteuse et sans danger pour l'environnement. Les insectes spécialement visés sont la mouche méditerranéenne des fruits (cératite) et plusieurs variétés de la mouche tsé-tsé, qui transmet la trypanosomiase au cheptel et aux humains. La technique de l'insecte stérile requiert l'élevage en masse d'insectes qui sont ensuite stérilisés par irradiation gamma et lâchés en nombre impressionnant dans les champs où ils s'accouplent avec les insectes de la population naturelle. L'accouplement ne donne pas de descendance et conduit ainsi à la réduction et, en fin de compte, à l'élimination de cette population. C'est donc l'élevage en masse qui est au cœur même de l'opération et a permis de mener avec succès des campagnes de destruction de la cératite et de la mouche tsé-tsé dans de nombreux pays en développement.

Au Mexique, les techniques d'élevage en masse conçues en coopération par la FAO et l'AIEA ont été progressivement développées et permettent de produire plus de 500 millions de cératites par semaine. Après stérilisation aux rayons gamma elles sont lâchées par avion. En quelques années, le projet a réussi à éliminer la cératite au Mexique. Les mouches stérilisées servent maintenant à éliminer leurs congénères du Guatemala et à protéger le Mexique contre une réinvasion. Les récoltes ainsi sauvées sont estimées à des centaines de millions de dollars par an.

L'élevage de la mouche tsé-tsé diffère beaucoup de celui de la cératite. Une mouche tsé-tsé donne naissance à une mouche tous les 9 ou 10 jours, ce qui est une reproduction très lente, et la population naturelle est donc vraiment très faible comparée à celle d'autres insectes. On a d'abord élevé cette mouche sur des chèvres, des lapins et des cochons d'Inde. Actuellement, on emploie des membranes artificielles et du sang prélevé dans les abattoirs locaux. Cette technique a été utilisée au Nigéria en 1987 et a permis d'éliminer une espèce de mouche tsé-tsé sur une superficie de 1500 kilomètres carrés.

La protection de l'environnement

La Section de l'agrochimie et des résidus s'attache à accroître l'innocuité des engrais et des pesticides, et à réduire les effets résiduels qui peuvent venir de l'emploi



Pour la campagne d'éradication de la cératite, au Mexique, des œufs se sont mis à éclore sur des plateaux déjà pourvus de nourriture pour les larves et placés dans une enceinte à température et hygrométrie constantes pendant les 7 jours nécessaires au développement complet de l'insecte adulte.

incorrect, mais aussi correct, de ces produits. Comme leur consommation massive est une condition du haut rendement des variétés de plantes de la révolution verte, une évaluation pertinente de leur cheminement et de leurs effets dans l'environnement agricole est capitale pour une bonne gestion des terres cultivées.

Le recours aux techniques nucléaires pour l'étude des résidus des pesticides a révélé que le problème des résidus sous les tropiques n'est peut-être pas aussi grave qu'on l'avait cru à condition toutefois que quelques règles fondamentales d'application soient suivies. Les moyennes élevées de température et d'hygrométrie qui règnent dans la plupart des pays en développement font que les taux de dissipation des pesticides y sont plus élevés que dans les pays à climat tempéré. Bien qu'une certaine dégradation microbiologique soit constatée, la dissipation résulte essentiellement d'une simple volatilisation à partir des plantes et de la surface du sol.

Actuellement, la section cherche activement à déterminer la capacité de l'environnement à absorber des pesticides potentiellement nocifs et très rémanents, mais rentables, tels que le DDT et le lindane. Une recherche coordonnée se fait principalement dans les régions tropicales en vue de mesurer les taux de dissipation et de dégradation du DDT et des produits chimiques analogues. Les résultats préliminaires ont montré que le DDT se dissiperait dans des zones étendues du Kenya, de l'Inde et du Soudan à des taux qui empêcheraient l'accumulation locale de résidus dans le sol, la flore et la faune.

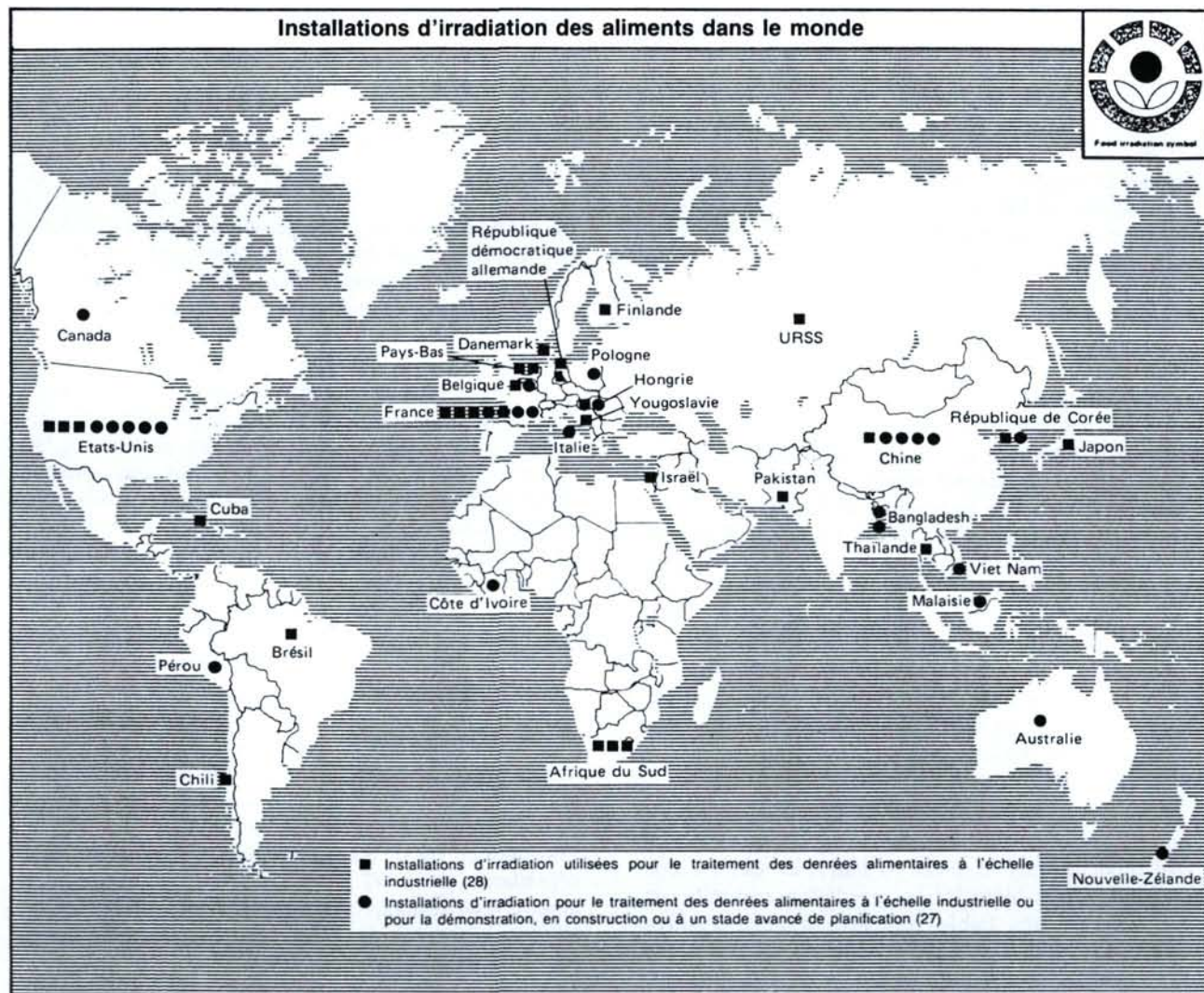
Par ailleurs, on étudie la possibilité d'accroître l'efficacité d'une gamme de pesticides en vue de réduire les quantités utilisées en employant des méthodes d'application contrôlée. Un exemple en est l'incorporation d'insecticides à action de longue durée, tel l'endosulfane, dans des polymères utilisés comme cibles pour la mouche tsé-tsé en Afrique tropicale. Le but est de réduire la population de ces mouches en les attirant vers les cibles où elles ingéreront une dose létale

d'insecticide. On pense qu'il est possible, le long des cours d'eau, de réduire massivement cette population, avec très peu d'impact sur l'environnement local.

L'avenir

Le besoin d'accroître la production d'aliments de haute qualité durera. La population mondiale vient de franchir le seuil des 5 milliards et on ne perçoit aucun signe de diminution. La grande tâche de l'avenir est le maintien de la production mondiale d'aliments à moindre coût, avec des apports réduits et un plus grand souci de l'environnement. De ce fait, l'amélioration des cultures et de l'élevage exige des techniques toujours plus perfectionnées.

Les horizons que font découvrir les biotechnologies nouvelles et le génie génétique accéléreront sans aucun doute le progrès. Presque toutes les facettes de ces technologies se fondent sur l'utilisation d'indicateurs isotopiques ou de rayonnements ionisants. Les techniques nucléaires sont maintenant chose courante dans les laboratoires des pays développés et de quelques pays en développement. Notre but est d'aider les autres à en faire couramment usage dans la recherche agricole. Ces techniques sont rarement utilisées seules en recherche et développement, mais elles s'intègrent de plus en plus à la technologie moderne et jouent un rôle essentiel dans ses multiples applications en faisant progresser la production de denrées alimentaires et en assurant le soutien de la «révolution verte» pour les années à venir.



La conservation des aliments par les rayonnements. La technique de l'irradiation peut réduire les pertes de denrées alimentaires après la récolte et augmenter les possibilités d'approvisionnement en aliments sains. Les travaux dans ce domaine n'ont pas contribué à la révolution verte, mais on peut s'attendre qu'ils facilitent beaucoup l'approvisionnement futur en denrées alimentaires. A l'heure actuelle:

- Trente-deux pays ont homologué 40 produits alimentaires irradiés pour la consommation, avec ou sans réserves.
- Dix-neuf pays exploitent 25 installations d'irradiation pour le traitement de certains produits alimentaires à l'échelle industrielle. Dans dix autres pays, des installations supplémentaires pour le traitement de produits alimentaires ou autres se construisent ou en sont à un stade avancé de planification. On prévoit que d'ici à 1990 25 pays au moins utiliseront une cinquantaine d'installations d'irradiation pour le traitement des produits alimentaires.
- Le centre international des techniques d'irradiation des aliments, projet de la FAO, de l'AIEA et du Ministère de l'agriculture et de la pêche des Pays-Bas, a jusqu'ici formé plus de 200 scientifiques et cadres de plus de 40 pays.
- Le Groupe consultatif international sur l'irradiation des aliments, parrainé par la FAO, l'AIEA et l'Organisation mondiale de la santé (OMS), procède à l'évaluation globale de l'évolution et centralise l'information pertinente à l'intention des Etats Membres et des organisations. Vingt-six pays sont membres du centre et contribuent en espèces ou en nature à la réalisation des programmes.