

ECONOMIES REALISEES DANS L'INDUSTRIE ET DANS L'AGRICULTURE GRACE A L'EMPLOI DES RADIOISOTOPES

Des experts éminents de six pays participant à une table ronde organisée par l'Agence, le 24 septembre 1963, dans le cadre de la dernière session de la Conférence générale de l'AIEA ont fait valoir les avantages et les économies que l'on peut obtenir dans l'industrie et dans l'agriculture grâce à l'emploi des radioisotopes. Ont pris part à la discussion :

- M. Seaborg, Président de la Commission de l'énergie atomique des Etats-Unis
- M. Emelyanov, Vice-Président de la Commission de l'URSS pour l'utilisation de l'énergie atomique
- M. Fisher, Directeur du Service des radioéléments artificiels à Saclay (France)
- M. Gopal-Ayengar, Directeur du Groupe de biologie à l'Etablissement de l'énergie atomique de l'Inde
- M. Laurence, Président de la Commission de l'énergie atomique du Canada
- M. Putnam, Directeur adjoint du Laboratoire de recherches de Wantage, Autorité de l'énergie atomique du Royaume-Uni
- M. Seligman, Directeur général adjoint de l'AIEA chargé du Département de la recherche et des isotopes, a dirigé les débats.

Les experts ont fait les déclarations ci-après, qui ont été suivies d'une courte discussion.

M. SEABORG

Il est encourageant de constater que les radioisotopes ont maintenant maints emplois rentables dans tous les Etats-Unis. Les services que nous rendent ces produits de l'âge atomique pour notre santé, notre bien-être et l'économie de notre pays ne cessent de se multiplier. Leurs nombreux usages sont maintenant si intimement mêlés à la vie quotidienne qu'il est très difficile de chiffrer exactement la valeur qu'ils représentent. Certains de ces services, parmi les plus précieux, ne se prêtent pas à une évaluation en unités monétaires. L'emploi d'atomes radioactifs comme indicateurs, par exemple, ouvre des perspectives nouvelles pour la compréhension des processus dynamiques de la nature. Comment l'évaluer ? Si le même résultat pouvait être obtenu par des méthodes classiques, on pourrait porter la différence des prix de revient à l'actif des radioisotopes. Mais, dans la

plupart des cas, ceux-ci sont irremplaçables dans leur rôle d'indicateurs. Leur utilisation pour le diagnostic médical et pour la thérapie échappe également à toute évaluation. Comment exprimer ce que représente la possibilité de sauver une vie humaine ?

Les économies indirectes et intangibles que permettent de réaliser les radioisotopes sont aussi importantes dans l'industrie. Grâce aux radioindicateurs, on peut, en effet, abrégé certaines recherches ; cependant, les économies notables qui en résultent apparaissent rarement dans le bilan des sociétés. Il en est de même des économies en journées de chercheurs, si précieuses de nos jours pour le progrès des nations.



Glenn T. Seaborg

Les matériaux économisés grâce aux radioisotopes utilisés dans des appareils de contrôle des fabrications et la réduction du nombre des mises au rebut sont des résultats tangibles et considérables. Par ailleurs, la perfection du contrôle de la qualité, que les jauges nucléaires permettent d'exercer, a peut-être une valeur encore beaucoup plus grande. En effet, l'uniformité des produits que l'on peut obtenir au moyen de jauges nucléaires et d'appareils de radiographie présente d'incalculables avantages, notamment la sécurité dans l'emploi de toute une série de produits comme les pneus, les chaudières, les caissons sous pression, les navires et les avions, pour ne citer que quelques exemples.

Nous ne nous attarderons pas à supputer les sommes épargnées à ce jour grâce à l'une des premières utilisations des radioisotopes - je veux dire la technique du radiosondage. Cette technique a, en effet, permis de découvrir de nombreux champs pétrolifères ou de donner une vie nouvelle à d'anciennes exploitations.

En dépit de ces limitations, cependant, il est possible de procéder à certaines évaluations, et nous avons déjà sur les économies réalisées des données qui peuvent être utilisées comme base pour comparer, de temps à autre, la valeur réelle des radioisotopes. La Commission de l'énergie atomique, par exemple, a fait faire une enquête de ce genre en 1958. Elle a demandé à un organisme privé de recherches économiques - le National Industrial Conference Board - de prendre contact avec tous les industriels américains titulaires d'un permis d'utiliser des radioisotopes en vue de déterminer les économies ainsi réalisées et pouvant être directement comptabilisées. Simultanément, la Commission de l'énergie atomique a fait une étude plus vaste portant aussi sur les économies indirectes et les avantages pour le consommateur. L'enquête a montré que les économies directes faites chaque année par les sociétés s'élevaient à quelque 40 millions de dollars et l'étude, qui portait également sur les économies indirectes, a révélé que le montant des économies annuelles pouvait s'évaluer à un minimum de 400 millions de dollars sur le plan national. Cette différence du simple au décuple semble raisonnable, eu égard à la nature et à la portée différentes des deux méthodes d'estimation.

Dans l'industrie, le nombre des permis d'utiliser des radioisotopes et le chiffre d'affaires des producteurs ont plus que doublé pendant les cinq dernières années. En se fondant sur les résultats de l'étude faite en 1958, on peut conclure que le montant total brut des économies directes et indirectes réalisées chaque année grâce à l'utilisation industrielle des radioisotopes aux Etats-Unis approche maintenant le million de dollars.

Dans l'estimation des économies provenant des utilisations agricoles des radioisotopes, la marge d'incertitude est également très grande. On sait, par exemple, que la campagne d'éradication de la lucilie bouchère entreprise dans le sud-ouest des Etats-Unis a permis d'épargner 11 millions de dollars, mais pendant combien d'années doit-on compter cette somme dans le montant des économies dues aux radioisotopes ? Comment calculer le gain que représentent les résultats de recherches qui ont montré où l'on pouvait faire des économies d'eau et d'engrais ? Pour identifier et chiffrer les économies ainsi réalisées par les agriculteurs américains, il faudrait réunir une très grande quantité de renseignements et procéder à de nombreuses extrapolations. Le problème est

encore plus difficile du fait que les Etats-Unis ont une très forte productivité agricole. Que représente le gain résultant de l'augmentation de la production de céréales dans le cas d'un pays qui doit résoudre un grave problème d'entreposage de récoltes excédentaires ?

Des problèmes de ce genre excluent la possibilité de considérer les économies directes comme base pour estimer les économies réalisées en agriculture grâce aux radioisotopes. C'est pourquoi l'enquête sur les économies dans ce domaine, qui a été faite sur l'initiative de la Commission de l'énergie atomique, l'a été sur la base plus large des économies indirectes. Cette enquête effectuée en 1959 par le Stanford Research Institute a permis d'estimer à un minimum de 180 millions de dollars par an jusqu'en 1980 la somme que pourrait épargner l'agriculture des Etats-Unis en appliquant les résultats des recherches. Les recherches au moyen des radioisotopes ont déjà eu pour résultat d'améliorer dans quelques domaines l'économie de la culture et de l'élevage ; par exemple, on commence à utiliser dans une certaine mesure des mutants végétaux plus résistants et plus productifs. Mais toute innovation en matière d'agriculture demande du temps et les bienfaits des recherches au moyen des radioisotopes sont encore loin de se faire sentir dans toutes les exploitations agricoles de notre pays.

Il reste beaucoup de débouchés pour toutes les applications courantes des radioisotopes dans l'industrie. On peut donc espérer que, dans l'avenir prévisible, les avantages que l'on retire de l'utilisation des radioisotopes continueront à augmenter au moins au rythme actuel. Toutefois, étant donné que des techniques nouvelles sont sur le point d'être commercialisées, on peut s'attendre, dans les cinq prochaines années, à un accroissement marqué de ce rythme et à une augmentation proportionnelle des avantages économiques obtenus.

Nous devrions notamment enregistrer une augmentation sensible des économies découlant de l'irradiation comme procédé de fabrication. Dans ce domaine, les progrès ont été lents en raison des travaux préalables de recherche et de mise au point particulièrement longs que nécessitent ces applications. Toutefois, des installations d'irradiation utilisant des radioisotopes permettent maintenant de produire ou de transformer "à la chaîne" divers produits chimiques et matières plastiques, et il est prévu que d'autres seront prochainement mises en service. Il faudra aussi tenir compte bientôt des résultats de nos programmes de développement de l'emploi des rayonnements pour la pasteurisation de substances alimentaires et la stérilisation d'autres produits, surtout dans les prochaines années. Pour ce qui est des denrées alimentaires, le but immédiat des premiers travaux de la Commission est de montrer les avantages économiques que présente la pasteurisation des fruits

et du poisson au moyen des rayonnements. Nous pensons qu'il sera possible de réaliser des économies en prolongeant la durée de conservation des denrées, en réduisant les pertes, en diminuant les frais d'envoi et en élargissant les marchés.

Le programme de conservation des denrées alimentaires illustre la manière dont la Commission de l'énergie atomique collabore avec l'industrie privée et d'autres services gouvernementaux pour hâter les bienfaits de la technologie nucléaire. Une partie importante de notre Programme de développement des radioisotopes comprend nécessairement l'étude et la mise au point de nouvelles techniques radioisotopiques au laboratoire. Mais pour encourager l'industrie privée à s'y intéresser et l'amener à en faire bénéficier l'économie, nous devons souvent poursuivre nos travaux jusqu'au stade de l'installation pilote. Ces activités sont particulièrement fructueuses si elles sont exercées en collaboration avec l'utilisateur éventuel, qu'il s'agisse d'un service gouvernemental ou d'une industrie privée.

Un autre exemple de l'emploi des radioisotopes est un dispositif qui utilise la diffusion en avant des particules bêta. Ce dispositif a été récemment envoyé par ballon dans la couche supérieure de l'atmosphère et il a transmis la mesure vraie de la densité de l'air raréfié. Pour des raisons évidentes, le Service météorologique des Etats-Unis collabore activement à ces travaux. Sur le plan industriel, l'appareil en question peut présenter un intérêt pour la mesure du vide.

Nous sommes aussi convaincus que le vaste programme de production d'électricité au moyen des radioisotopes, entrepris par la Commission de l'énergie atomique des Etats-Unis en collaboration avec d'autres services gouvernementaux, aboutira à des applications industrielles, par exemple dans l'exploitation commerciale de l'espace pour les télécommunications. En conclusion, l'emploi des radioisotopes à des fins agricoles et industrielles a presque doublé dans notre pays au cours des cinq dernières années et nous prévoyons que cette tendance s'accentuera dans les cinq prochaines années. Les résultats obtenus sont encourageants, mais nous ne pouvons nous endormir sur nos lauriers car il reste un très grand nombre de possibilités inexploitées.

VASILY S. EMELIANOV

Les perspectives qu'offre l'emploi dans l'industrie des radioisotopes produits grâce au fonctionnement des réacteurs nucléaires peuvent être comparées à la découverte d'un vaste gisement d'or. Le gisement a simplement besoin d'être exploité habilement; mais, dans le cas qui nous occupe, les chercheurs d'or doivent posséder de grandes connaissances, car les techniques classiques sont tout à fait in-

suffisantes pour les travaux au moyen de radioisotopes.

Le débat d'aujourd'hui a pour thème les "économies réalisées dans l'industrie et dans l'agriculture grâce à l'emploi des radioisotopes". Le fait que l'utilisation des radioisotopes procure des économies - parfois très importantes - est maintenant notoire, bien qu'il soit souvent difficile d'estimer le montant exact des économies ainsi réalisées. Cette observation a déjà été faite ici, notamment par M. Seaborg. En Union soviétique, de nombreuses organisations qui se rattachent à différentes sphères de l'activité humaine emploient des radioisotopes dans les branches les plus variées de la science et de la technologie.



V.S. Emelyanov

En métallurgie, les radioisotopes permettent de suivre les mouvements des matériaux dans le haut fourneau et de s'assurer ainsi de leur descente régulière dans l'appareil et de la répartition uniforme des gaz. On a ainsi la garantie que le haut fourneau fonctionne de manière efficace; à long terme, il sera possible d'instituer un contrôle automatique de l'ensemble du processus et d'obtenir par conséquent une meilleure productivité dans les fonderies. Dans les laminoirs, les radioisotopes sont aussi utilisés pour mesurer l'épaisseur des tôles destinées à la production de tuyaux. Par cette méthode, on contrôle l'épaisseur du métal sans réduire la vitesse de laminage, ce qui entraîne une productivité accrue des machines. La qualité des moulages de métaux et d'alliages peut également être contrôlée au moyen des radioisotopes. En Union soviétique, ces derniers sont aussi largement employés en soudure.

L'industrie chimique, de son côté, fait de plus en plus largement appel aux sources de rayonnements pour la mécanisation et l'automatisation des procédés de fabrication. Les radioisotopes peuvent être uti-

lisés pour le dosage des poudres et liquides qui entrent dans les produits manufacturés. On peut aussi grâce à eux contrôler la pression, la densité, le niveau, la température et de nombreux autres facteurs.

Dans les recherches géologiques, les radioisotopes sont une sorte d'oeil exceptionnellement pénétrant et sensible qui aide le géologue à découvrir des minéraux utiles. En Union soviétique, la technique du radiosondage a rendu de précieux services dans la prospection pétrolière, car elle a permis non seulement de découvrir de nouveaux gisements de pétrole mais également de remettre en exploitation de nombreux puits abandonnés.

La biologie, la médecine et l'agriculture sont au nombre des domaines qui ont, en Union soviétique, bénéficié largement de l'utilisation des radioisotopes. Pour la recherche scientifique pure, les radioisotopes constituent un outil expérimental d'une valeur inestimable qui permet d'observer et de comprendre des processus biochimiques délicats d'une manière à laquelle se seraient refusé à croire les chercheurs d'autrefois; en outre, les radioisotopes servent de nos jours dans de nombreuses expériences présentant un intérêt pratique immédiat. Nous pouvons, par exemple, déterminer le mode d'application le plus efficace des engrais dans le sol en les marquant au moyen de radioisotopes. Il est aussi possible, en irradiant le grain, de le conserver en détruisant les insectes et plantes nuisibles. L'irradiation des semences augmente le rendement de certaines cultures, et parfois on peut accroître la partie utile de la plante par le même procédé. Nos recherches ont montré, par exemple, que l'on obtient une betterave sucrière ayant une teneur plus élevée en sucre, des carottes contenant davantage de carotène, etc. Evidemment, les applications des radioisotopes à l'agriculture et à la recherche biologique constituent une question extrêmement complexe, car de nombreux facteurs entrent simultanément en jeu; c'est un point qu'il ne faut pas oublier.

Nos travaux récents au moyen des radioisotopes ont été caractérisés par l'emploi simultané des isotopes et d'autres découvertes de la technologie contemporaine. Les radioéléments artificiels jouent un rôle important dans la mécanisation et l'automatisation de nombreuses techniques industrielles. Nous avons déployé de grands efforts pour introduire l'automatisation dans les secteurs où le travail des ouvriers est particulièrement pénible et malaisé - comme, par exemple, l'extraction, le broyage et le transport des minerais et du charbon. Dans l'un des nouveaux grands établissements miniers de l'Ukraine - les mines de fer de Krivorozh - des centaines de machines ont été installées pour le broyage du minerai; ces machines, qui contrôlent et dirigent les quantités de minerai tout au long de leur trajet entre les différents stades de la préparation, sont fondées

sur l'utilisation des radioisotopes. Dans des opérations de ce genre, les radioisotopes assurent une surveillance rigoureuse et continue qui libère l'homme d'un travail désagréable et épuisant.

Il est maintenant devenu difficile d'énumérer les domaines où l'emploi des rayonnements s'est révélé un succès; en fait, il serait plus aisé d'indiquer les secteurs où ils ne sont pas utilisés - bien que ceci ne soit pas non plus facile étant donné qu'ils sont de plus en plus difficiles à trouver. La République socialiste soviétique de Lettonie illustre bien mon propos. Dans cette petite République, les radioisotopes sont employés dans plus de 70 entreprises: mines de charbon, fabriques de ciment, sucreries, fabriques de contre-plaqué, de disques, de postes de radio et même de confiseries. Il y a environ un mois et demi, j'ai visité une boulangerie où les radioisotopes servent à contrôler et à régler automatiquement la température des fours. Il s'agit là vraiment d'une des activités humaines les plus pacifiques.

Il est difficile de chiffrer les gains énormes dus à l'emploi des radioisotopes. Le fait qu'ils sont toujours introduits dans de nouveaux domaines se passe de commentaires. Nous avons essayé de calculer les économies découlant de l'utilisation des radioisotopes et les résultats de nos calculs, qui étaient loin d'être complets, ont donné des chiffres atteignant des centaines de millions de roubles par an.

Je voudrais mentionner encore un exemple de la façon dont les radioisotopes peuvent être utilisés pour la bonne cause - un exemple qui vient de me venir à l'esprit. Dans les fabriques de textiles et de films cinématographiques de l'Union soviétique, les radioisotopes sont très appréciés pour éliminer l'électricité statique. Les difficultés que causait jusqu'à présent l'accumulation d'électricité statique à certains endroits ont ainsi pu être supprimées, ce qui a contribué à accroître la productivité.

Permettez-moi, en conclusion, de souligner à nouveau que l'emploi des radioisotopes constitue une des conquêtes les plus importantes de la recherche en physique et en radiochimie. Je tiens à encourager l'Agence internationale de l'énergie atomique à intensifier ses efforts dans ce domaine.

CHARLIE FISHER

Je voudrais surtout insister sur la nécessité qu'il y a, pour développer rapidement l'utilisation des radioéléments, d'organiser de bonnes relations entre les producteurs de radioéléments, qui sont en général des organismes nationaux, et les utilisateurs, qui sont très nombreux et qui ont des problèmes extrêmement divers. Je vais vous faire part de l'expérience acquise par un pays comme la France où l'organisation de l'énergie atomique est assez fortement centralisée.

On utilise pour développer l'emploi des radioéléments des méthodes classiques de diffusion de l'information; des conférences ou des publications techniques et aussi des enseignements spécialisés qui permettent aux ingénieurs ayant une formation générale de se familiariser avec les techniques particulières liées à l'utilisation des radioéléments. Cependant, il semble que, si l'on veut développer rapidement l'utilisation des radioéléments, il faille surtout multiplier les contacts avec les organismes techniques spécialisés ou avec les constructeurs de matériel utilisant des radioéléments et également maintenir dans le cadre de l'organisme national - en France, le Commissariat à l'énergie atomique - un groupe d'étude, spécialisé dans les applications de radioéléments, auquel les utilisateurs peuvent venir poser leurs problèmes et avec lequel ils peuvent chercher à les résoudre.



Charlie Fisher

Il y a une gamme si vaste de possibilités d'applications des radioéléments - comme vous l'avez déjà vu d'après les exposés précédents - qu'il est très important de transférer le plus rapidement possible en dehors des commissions d'énergie atomique la plus grande partie de l'effort de développement de ces possibilités. En effet, si on peut être spécialiste de la radioactivité, on ne peut pas être en même temps métallurgiste, ingénieur des travaux publics et hydrologiste. Il est donc très important d'établir des contacts étroits avec les différentes branches de la technique. Depuis longtemps, en France, certaines applications sont passées entièrement dans le domaine privé; ce sont la radiographie à l'aide des rayons gamma, et l'utilisation des différents types de jauge pour la mesure des épaisseurs, des niveaux ou des densités. Ces techniques représentent de très loin la plus grande partie des applications des radioéléments et c'est d'elles que l'on tire la part la plus importante des économies réalisées par leur emploi.

Il a paru nécessaire cependant d'orienter les efforts, coordonnés par le Commissariat à l'énergie atomique, vers des domaines qui sont en cours de développement, et je voudrais ici donner un certain nombre d'exemples des voies dans lesquelles nous sommes engagés à l'heure actuelle.

Nous nous orientons vers l'utilisation des radioéléments en hydrologie et en hydraulique. L'utilisation des radioéléments est un moyen de choix pour suivre le cheminement des eaux souterraines, mesurer le débit des fleuves, suivre le déplacement des sables; il est évidemment difficile d'évaluer de façon concrète les bénéfices que l'on peut tirer de telles applications, mais il reste encore beaucoup de progrès techniques à accomplir pour étendre ce domaine.

En ce qui concerne les jauges, nous nous orientons vers l'étude de types de jauge particuliers dans lesquels, à l'aide de rayonnements, on essaie de produire d'autres rayonnements qui sont caractéristiques de la présence d'un élément et de faire en quelque sorte une analyse non destructive.

L'analyse par activation est également une technique qui est appelée à rendre de très grands services et qui fait l'objet d'un grand effort de recherche et de développement. C'est une technique dans laquelle les éléments à doser sont rendus radioactifs afin d'en déceler la présence et d'en mesurer les quantités; elle permet d'obtenir d'extrêmes sensibilités de détection ou de faire rapidement des analyses qui peuvent être très difficiles par les moyens chimiques habituels.

Enfin, on déploie des efforts dans le domaine des sources intenses pour utiliser les effets des rayonnements et surtout pour mettre au point ou perfectionner des méthodes de dosimétrie et des méthodes de calcul de protection et développer ainsi en quelque sorte la technologie des irradiateurs destinés à l'industrie.

Pour préciser la façon dont nous travaillons en collaboration avec l'industrie, je voudrais indiquer qu'il existe en France un groupement des sociétés chimiques importantes qui se consacrent à l'exploitation des effets des rayonnements. Le Commissariat à l'énergie atomique a déposé dans l'irradiateur construit par ce groupement plusieurs dizaines de milliers de curies de cobalt; la quantité sera accrue avec le temps et c'est une collaboration qui s'installe ainsi entre le Commissariat à l'énergie atomique et les groupes privés pour l'exploitation en commun de moyens qui ont été réunis.

On déploie un effort semblable dans le domaine de l'analyse par activation pour que les industriels puissent trouver des laboratoires capables de faire de l'analyse par activation d'une façon absolument courante.

Grâce à ces efforts, le nombre des utilisateurs de radioéléments croît régulièrement; il augmente d'environ 20 % chaque année, surtout d'ailleurs dans les domaines qui sont encore des applications très classiques des radioéléments, car des jauges de types très nouveaux ou des utilisations nouvelles de radioindicateurs mettront un certain temps à entrer dans la pratique courante.

C'est ainsi que dans l'étude faite en France sur les économies réalisées par l'emploi des radioéléments, nous sommes arrivés au résultat suivant qui porte sur l'année 1961 et qui représente ce que M. Seaborg appelle les économies directes; ces économies atteignaient 40 millions de francs, dont 90 % sont dus à l'utilisation de la gammagraphie ou des jauges. Nous avons estimé qu'il était très difficile de faire entrer, dans les économies directes, les économies réalisées grâce à l'emploi de radioindicateurs, mais on connaît des applications individuelles de radioindicateurs où des économies du même ordre de grandeur ont été réalisées.

Je suis convaincu, en ce qui me concerne, qu'il y a encore beaucoup à faire pour développer l'emploi des radioéléments et je souhaite également que, grâce à la collaboration avec l'Agence, ce soit un domaine qui se développe considérablement car les possibilités d'applications ouvertes par l'emploi des radioéléments sont infinies.

M. GOPAL-AYENGAR

Après avoir mentionné d'une façon générale les multiples applications des radioisotopes et le rôle important qu'ils jouent dans l'amélioration de la production et l'élargissement des connaissances, M. Gopal-Ayengar a déclaré que les économies réalisées dans l'agriculture grâce à l'emploi des radioisotopes présentent pour l'Inde un intérêt particulier en raison du caractère essentiellement agricole du pays. Il a cité notamment les gains élevés dus à l'éradication de la lucilie bouchère aux Etats-Unis par la technique de la stérilisation des mâles, et les économies considérables que permettrait l'application des connaissances acquises grâce aux radioisotopes pour lutter contre la coccidiose - maladie parasitaire de la volaille, des bovins et des ovins. Voici la suite de l'exposé de M. Gopal-Ayengar :

La technique de la stérilisation des mâles a donné lieu à de nombreuses applications utiles. Des études ont été entreprises à la East African Tsetse Organisation de l'Ouganda et à la London School of Tropical Medicine and Hygiene sur l'un des insectes les plus dangereux, la mouche tsé-tsé. La technique de la stérilisation des mâles s'est également révélée utile pour la lutte contre la mouche méditerranéenne des fruits qui détruit toute une série de récoltes.

La lutte contre les insectes dans les céréales en farines et en grains est également très importante. Les insectes entraînent des pertes énormes dans les stocks de ces denrées. La calandre et le ténébrion, parmi d'autres insectes de ce genre, causent probablement les plus grands ravages dans les farines, les produits à base de céréales et les céréales en grains. Aux Etats-Unis, ces pertes sont estimées à 4 000 millions de dollars, à quoi s'ajoute le coût des insecticides, soit une somme de l'ordre de 300 millions de livres par an. De plus, si la désinsection chimique par fumigation peut être efficace sur des insectes à l'état larvaire ou adulte, elle n'a aucun effet sur les oeufs, à moins qu'elle ne soit répétée de manière à détruire les insectes à l'éclosion. L'irradiation gamma au moyen d'une source au cobalt-60 présente par rapport à la désinsection chimique le grand avantage de stériliser les oeufs en même temps que les insectes adultes. Les radioisotopes sont devenus indispensables dans les études sur la biochimie et la physiologie des insectes, leurs migrations et leurs conditions d'existence, leurs habitudes alimentaires et l'action du DDT et d'autres insecticides.



A. R. Gopal-Ayengar

Ils sont largement utilisés pour l'élevage de vaches laitières sélectionnées. Par des études au moyen d'un radioisotope de l'iode (l'iode-131), on s'efforce d'établir un rapport entre la fonction thyroïdienne et la production de lait. Sur la base de ces renseignements, certains Etats cherchent à élever des vaches supportant la chaleur.

Passons maintenant aux économies qui peuvent être réalisées en agriculture grâce aux études sur la nutrition, la physiologie et les mutations des plantes. Une chose est certaine : l'augmentation de la productivité témoigne du fait que les avantages économiques découlant des recherches agricoles sont considérables. Or, d'après certaines estimations, la moitié

du genre humain souffre de la faim et la population du globe augmente très rapidement. Plusieurs fléaux peuvent déjouer les calculs des producteurs. La réduction et la suppression éventuelle des causes de pertes à la production sont les objectifs de nombreux projets de recherche, et l'on peut évaluer (malgré les insuffisances des statistiques) les économies qui peuvent être réalisées dans l'agriculture et dans l'industrie et qui sont en fait très importantes. La recherche fondamentale a mis au point des techniques radioisotopiques efficaces pour réduire ces pertes. Le problème des pertes agricoles dues aux maladies des plantes est résolu par la création de mutants résistant à ces maladies, par la lutte contre les insectes vecteurs de maladies ou par leur éradication et par des études approfondies sur les besoins alimentaires. Le problème des pertes dues aux mauvaises herbes est résolu par des études de pédologie et par la mise au point de nouveaux herbicides particulièrement efficaces.

Les études phytophysiologiques et les recherches sur l'application des engrais permettent de réaliser de sérieuses économies. L'emploi de radioindicateurs dans ces études et recherches a aidé à déterminer les besoins des plantes dans des conditions différentes. Connaissant bien la nature, la quantité et le mode d'application des engrais nécessaires pour toute une série de plantes, on a pu mettre au point de nouvelles méthodes d'alimentation par la racine et par les feuilles. Des études sur le mode de pénétration, de distribution et d'action de régulateurs chez les plantes ont fourni des renseignements qui ont permis d'éviter la chute prématurée des fruits, et de régler la floraison et la fructification. On a pu aussi préparer des herbicides - l'une des découvertes importantes pour l'agriculture - grâce à l'emploi de radioindicateurs. Ces découvertes ont une influence directe sur l'augmentation de la productivité agricole. C'est ainsi que des engrais phosphatés bien appliqués permettent d'augmenter de 20 % le rendement en betteraves à sucre, en orge et en pommes de terre, et de 50 à 75 % le rendement en luzerne, ce qui, rien que pour ces cultures, représente un gain annuel de plusieurs millions de dollars.

Egalement importante est l'utilisation des radioisotopes dans l'industrie alimentaire. Bien que la conservation des denrées alimentaires au moyen des rayonnements en soit encore à un stade de développement peu avancé, il semble d'ores et déjà que ce procédé soit utile et pratique. Les mérites de plusieurs applications des rayonnements et des radioisotopes sont déjà reconnus. Ces applications visent notamment à supprimer les pertes causées par les charançons et autres, les insectes nuisibles dans les stocks de denrées alimentaires, à augmenter la durée de conservation du poisson, de la volaille, de la viande et des légumes, à empêcher la germination des pommes de terre et à renouveler les méthodes clas-

siques de stérilisation et de pasteurisation qui entraînent une forte dégradation des éléments nutritifs essentiels. En matière de santé publique, les rayonnements peuvent être utilisés pour lutter contre les affections transmises par les denrées alimentaires - tuberculose, anthrax, salmonellose, etc. - contre les infections dues à des parasites tels que le ver solitaire et contre les infections dues à des champignons et des protozoaires.

L'utilisation de radioindicateurs pour mesurer les débits liquide et solide des cours d'eau fournit des renseignements utiles pour les études de barrages et, par conséquent, ne présente pas seulement des avantages commerciaux mais contribue largement au bien-être d'une nation dans son ensemble. A la suite d'études radioisotopiques sur les mouvements des sables dans divers ports - je pense notamment à certaines expériences menées dans les ports de Bombay et de Cochin - les emplacements où étaient déversés les vases de dragage ont été abandonnés pour d'autres emplacements, ce qui a contribué à réduire les frais d'entretien des chenaux de navigation. Les économies résultant de la diminution de l'envasement ne pourront être évaluées qu'après de nombreuses années. Des expériences similaires sont en cours dans le Hooghly, bras des bouches du Gange, et fourniront vraisemblablement des renseignements utiles pour l'amélioration de la navigation.

Le mouvement des sables dans les ports de Bombay, de Cochin et de Karwar, ainsi que dans l'estuaire de Calcutta, a été étudié au moyen de scandium-46 et d'or-198. Le scandium-46, dont la période est de 84 jours, a permis d'étudier ce mouvement pendant toute l'année et les données obtenues ont fourni des indications sur les emplacements qui conviendraient au déversement des vases de dragage. Les économies ainsi réalisées sont très importantes et sont évaluées à plus d'un million de roupies. On espère que les études similaires entreprises en vue d'améliorer le chenal de navigation du Hooghly entraîneront également des économies très importantes pour le port de Calcutta.

L'emploi des radioisotopes se développe rapidement dans l'Inde, comme en témoigne le nombre des livraisons aux industriels. Ce nombre est actuellement huit fois plus élevé qu'il y a trois ans. Les radioisotopes sont utilisés dans les aciéries, dans les laminoirs et pour la radiographie industrielle. Les économies directes dues à leur emploi sont estimées à environ deux millions de roupies.

En conclusion, M. Gopal-Ayengar a mentionné les problèmes démographiques de l'Inde et souligné la nécessité de ne négliger aucun moyen de supprimer le gaspillage et d'accroître la productivité.

G.C. LAURENCE

Les applications des radioisotopes les plus anciennes, les plus perfectionnées, les plus importantes sont celles qui nécessitent des sources d'une assez grande intensité. Je pense, évidemment, au traitement du cancer et à l'emploi du radium pour l'inspection radiographique des moulages et d'autres produits industriels. La plus prometteuse des dernières découvertes semble être l'irradiation de matières organiques, comme par exemple dans la stérilisation des fournitures médicales, dans le traitement des denrées alimentaires pour empêcher l'apparition de germes, détruire les parasites et supprimer la contamination bactérienne, et dans maintes applications dont bon nombre ont déjà été mentionnées par ceux de mes collègues qui m'ont précédé. Toutes ces applications nécessitent des blocs de matière radioactive qui émettent des rayonnements intenses. Au Canada, les chercheurs se sont surtout intéressés aux emplois des rayonnements qui nécessitent des sources intenses. Je pense qu'une des raisons de l'intérêt suscité par ces applications est probablement due au fait que les réacteurs ralentis à l'eau lourde conviennent particulièrement bien à la production de ces sources radioactives fortement concentrées, non seulement parce que ces réacteurs ont un flux assez haut, mais encore parce qu'ils possèdent de nombreuses espèces d'irradiation.



G.C. Laurence

Jusqu'en 1951, les sources les plus intenses dont on disposait pour la radiographie industrielle et pour le traitement du cancer étaient constituées par le radium et atteignaient rarement un curie; mais en 1951, une source de 1 000 curies, produite dans le réacteur NRX, à Chalk River, a pu être mise à la disposition du Dr Ivan Smith à London (Canada). C'était la première bombe au cobalt. De nos jours, on construit des bombes au cobalt contenant des sources d'une puissance allant jusqu'à 9 000 curies pour

la thérapie et pour la radiographie et autres opérations industrielles. Ces chiffres n'ont peut-être guère de signification pour un profane, mais pour le radiologue qui, avant la guerre, avait l'habitude d'utiliser seulement un curie de radium, ils représentent un changement très important. Les sources intenses lui permettent de traiter un plus grand nombre de malades en une journée avec une plus grande maîtrise. Dans l'industrie, elles permettent également d'obtenir des radiographies de moulages, de pièces soudées et d'autres pièces beaucoup plus nettes qu'il y a quelques années. Pour le traitement du cancer et pour la radiographie industrielle, il est important que la source soit non seulement intense mais aussi très concentrée, c'est-à-dire que son volume soit petit. Lorsqu'on utilise une source concentrée pour la thérapie du cancer, il est plus facile de limiter l'irradiation aux tissus malades et de réduire ainsi toute exposition nuisible des tissus intacts autour de la tumeur. Pour la radiographie industrielle, il est aussi souhaitable de disposer de sources fortement concentrées, qui produisent des radiographies d'une meilleure définition - c'est-à-dire des images plus claires. Les sources au cobalt-60 actuellement produites dans le réacteur NRU ont des concentrations allant jusqu'à 1 100 curies par centimètre cube. Le cobalt-60 est utilisé pour la radiographie de moulages d'acier, de fer et de cuivre. Pour les objets plus petits, on se sert d'iridium-192, dont les rayonnements sont moins pénétrants et qui permettent donc de déceler plus facilement de petits défauts dans les objets. D'autres sources à rayonnements encore moins pénétrants sont utilisées pour la radiographie de tôles minces ou de moulages en alliages légers d'aluminium et de magnésium.

Il est très difficile de chiffrer les économies possibles grâce à la radiographie industrielle. En effet, on ne dispose très souvent d'aucune autre méthode d'inspection qui permette de découvrir des défauts dans les objets sans les détruire. Le plus gros avantage est bien entendu d'éviter les pertes que pourraient entraîner des accidents coûteux dus à un vice de construction. C'est pourquoi la radiographie industrielle est obligatoire dans de nombreux secteurs de la construction de matériel et son usage se répand de plus en plus rapidement.

Pour certaines utilisations telles que l'irradiation de produits agricoles, il n'est pas nécessaire que la source radioactive soit concentrée. Il est souvent souhaitable de répartir un grand nombre de sources radioactives sur les parois d'une petite enceinte où peuvent être placés les objets à irradier. Il est plus économique d'utiliser à cet effet le cobalt-60 qui n'est pas très concentré. On peut se procurer du cobalt-60 de faible concentration sous des formes dont le prix n'excède pas un dollar le curie. Un irradiateur au cobalt-60 de 60 000 curies ainsi conçu est actuellement en construction et sera utilisé pour

l'irradiation du catgut et autres liens de suture. Ce genre d'appareil est polyvalent et peut servir aussi bien à la stérilisation de fournitures médicales qu'au traitement de produits agricoles pour détruire les parasites et les germes de maladie.

Une autre application des rayonnements promise à un grand succès est l'inhibition de la germination des pommes de terre. Lorsque les pommes de terre sont emmagasinées pendant plusieurs mois avant d'être consommées, elles ont tendance à germer; les germes se développent en puisant dans la pomme de terre dont les qualités nutritives diminuent. On a prouvé que l'irradiation peut empêcher ce phénomène. On a construit un grand irradiateur de pommes de terre et on l'a installé sur une remorque pour pouvoir le déplacer à travers le pays. Il contient 10 000 curies de cobalt-60. C'est un transporteur à auge qui assure le passage des pommes de terre dans l'appareil. On peut ainsi irradier une tonne de pommes de terre par heure, la dose d'exposition étant de 8 000 roentgens qui sont suffisants pour éviter la germination des pommes de terre. L'année dernière, cette remorque s'est déplacée à travers le pays et a parcouru environ 64 000 kilomètres. Il a ainsi été possible d'empêcher la germination sans que l'irradiation ait aucun effet nuisible sur la qualité ou sur l'aspect des pommes de terre en tant que denrée alimentaire. Cette méthode s'est révélée si efficace que l'on envisage de l'appliquer à beaucoup plus grande échelle au Canada.

La possibilité d'utiliser un appareil similaire pour l'irradiation des fruits périssables, comme les fraises, fait l'objet de recherches entreprises conjointement par notre Département de l'agriculture et le Département de l'agriculture des Etats-Unis. Cette technique peut également s'appliquer à la stérilisation des fruits de mer, notamment des mollusques et de certains crustacés, ainsi que du bacon et d'autres conserves de viande. Elle sera d'abord appliquée aux denrées les plus coûteuses, comme celles que je viens de mentionner, car dans de nombreux cas les produits doivent être soumis à une irradiation supérieure à celle qui est nécessaire pour empêcher la germination des pommes de terre. Pour une stérilisation totale, c'est-à-dire pour détruire toutes les bactéries de certaines denrées alimentaires, il peut falloir de trois à quatre millions de roentgens et le coût peut à l'heure actuelle atteindre 40 dollars par tonne. Mais, pour certaines denrées, on peut utiliser des doses plus faibles et d'un prix tout à fait abordable. Les doses requises pour détruire des parasites tels que les calandres du riz et d'autres insectes et larves des céréales sont généralement plus faibles et donc moins coûteuses. Il est possible avec 20 000 roentgens d'anéantir la trichine du porc et le ténia du boeuf. Des doses d'irradiation coûtant à l'heure actuelle quelques dollars par tonne permettront de porter de une à plusieurs semaines la durée

pendant laquelle on pourra conserver en magasin à température modérée des viandes ou produits de la mer sans que les denrées en souffrent.

Nous sommes convaincus - puisqu'on a déjà réussi à empêcher la germination des oignons et des pommes de terre et à augmenter la durée de conservation de nombreuses autres denrées alimentaires - que, à mesure que le coût des substances radioactives diminuera et que l'on découvrira de nouvelles applications, la conservation des denrées alimentaires par irradiation sera appelée à prendre une très grande importance.

J.L. PUTNAM

Il est évident que certaines des principales économies du genre de celles que nous avons envisagées - certaines des économies facilement chiffrables - proviennent de l'emploi des radioisotopes dans l'industrie, c'est-à-dire dans des pays industrialisés. Il est beaucoup plus facile de mesurer la quantité de matières premières économisée dans un processus de fabrication grâce aux radioisotopes, simplement en retranchant l'une de l'autre les quantités consommées avant et après l'emploi des techniques radioisotopiques, et de l'exprimer en termes monétaires, que de déterminer ce que représente la mise en valeur de toute une zone aride. Je ne suis pas agronome et ne connais donc pas les tenants et les aboutissants d'une telle opération, mais je sais que les problèmes d'hydrologie suscitent de plus en plus d'intérêt à travers le monde. Même chez nous en Grande-Bretagne, où l'on peut estimer que l'eau n'est pas rare, on attache une plus grande importance à la conservation des eaux. Des méthodes radioisotopiques sont utilisées en hydrologie pour déterminer le débit de nos rivières et nos ressources en eau, notamment dans les régions urbaines.

Pour ce qui est des économies industrielles, je dirais que la plupart des techniques dont on vient de parler sont appliquées chez nous, où le nombre des utilisateurs de radioisotopes a presque doublé en cinq ans, depuis que nous avons fait notre dernière enquête économique. C'est ainsi que le nombre des jauges nucléaires utilisées dans l'industrie pour le contrôle de la fabrication est maintenant d'environ un millier, contre 600 en 1958. Le genre d'économies réalisées - notamment dans l'industrie du papier - est illustré par un exemple cité par un fabricant. Il affirme économiser 300 kilogrammes de papier et 15 minutes de fonctionnement de son matériel chaque fois qu'il change l'épaisseur du produit fabriqué. Cet industriel économise 14 à 20 000 dollars par an sur chaque machine et récupère ainsi le prix de la machine en six mois environ. Il est assez facile de citer de pareils exemples dans l'espoir de convaincre les industriels de l'intérêt qu'il y a à utiliser ces techniques, car les chiffres parlent et les

industriels sont habituellement prêts à faire ce qu'il faut pour obtenir des avantages semblables.



J.L. Putnam

Il est plus difficile d'évaluer l'importance des avantages que l'emploi des radioisotopes peut présenter pour l'économie d'un pays ; d'aucuns ont estimé que le rapport entre les gains qui peuvent être exprimés en valeur monétaire et les avantages économiques réels de l'emploi des radioisotopes pour un pays est de un à dix. Un exemple typique est l'industrie du charbon en Grande-Bretagne, dont nous dépendons encore dans une certaine mesure. Ces dernières années ont été pour l'industrie du charbon une période de mécanisation et d'amélioration. Le résultat frappant a été que pour la première fois depuis très longtemps cette industrie a fait des bénéfices qui s'expliquent en partie par la mise au point de machines nouvelles pour l'extraction du charbon. Deux de ces machines - le Midget Miner et le Collins Miner, qui sont particulièrement utiles pour l'exploitation de filons difficiles - sont contrôlées automatiquement au moyen de jauges gamma. Grâce à ce système de contrôle, elles taillent le charbon jusqu'à une distance d'environ 2,5 cm du schiste ou de la roche où il repose. De cette manière, le charbon ne contient pas de schiste ; s'il en contenait - ce qui ne manquerait pas de se produire en l'absence de contrôle automatique, sa valeur serait bien moindre.

Il est à noter aussi qu'une partie des bénéfices est transférée de l'utilisateur des radioisotopes au consommateur. En fait, souvent, l'ultime bénéficiaire de l'application des radioisotopes à la recherche n'est pas l'utilisateur de radioisotopes mais celui qui fait usage des produits de cet utilisateur. C'est ainsi que deux compagnies pétrolières britanniques ayant étudié les problèmes de lubrification au moyen des radioisotopes, ont pu accélérer leurs travaux de recherche sur l'usure des moteurs à tel enseigne qu'en l'espace de six mois ils ont mis au point de

nouveaux additifs possédant des propriétés très améliorées, dont la production aurait autrement nécessité huit à dix ans. Il est reconnu que, grâce à ces nouveaux additifs, la durée de vie des moteurs de voiture sera à peu près quadruplée. Les économistes s'interrogeront peut-être sur les avantages que ce progrès peut présenter pour le fabricant d'automobiles qui cherche à vendre plus de moteurs, mais il ne fait pas de doute que, pour le consommateur éventuel, cela représente une augmentation du niveau de vie.

Il existe aussi d'autres manières de faire bénéficier le consommateur d'une amélioration de la qualité d'un produit fabriqué, ou d'un accroissement de la précision dans la fabrication de ce produit, mais je ne suis pas certain qu'elles soient pleinement exploitées à l'heure actuelle. L'une de ces possibilités est la production de tôles d'une épaisseur donnée. Cette application des radioisotopes ne présente de réels avantages que si les ingénieurs qui étudient le matériel et les machines comportant des tôles fournissent des spécifications plus précises sur l'épaisseur du matériau dont ils ont besoin. Dans le cas de la construction d'automobiles par exemple, il est possible d'utiliser pour la carrosserie des tôles plus minces qu'autrefois, ce qui permet de réduire le poids du véhicule tout en évitant que des tôles trop minces - que l'on pourrait obtenir avec des tolérances importantes - ne nuisent à la sécurité du véhicule. Il s'agit bien d'une amélioration de la qualité qui bénéficie aux consommateurs.

Il est également vrai que lorsque l'emploi des radioisotopes accélère ou facilite un procédé de fabrication, le coût du procédé pour le producteur se trouve réduit. Dans une économie de concurrence - et dans d'autres économies aussi, je crois - il est inévitable que la réduction du prix de revient se répercute sur le consommateur sous forme d'une baisse de prix - ou tout au moins d'une augmentation de la qualité sans hausse correspondante du prix ; là encore, il en résulte une élévation du niveau de vie et, en fait, nombre de ces économies sur le plan industriel n'apparaissent pas comme des économies sur le plan comptable. Dans la dernière enquête que nous avons faite, l'utilisateur d'un appareil de gammagraphie a indiqué que l'usage des techniques radioisotopiques entraînait pour lui une perte par rapport à l'époque où d'autres techniques étaient employées ; tandis qu'autrefois il ne soumettait pas ses produits à des essais, maintenant il le fait et cela lui coûte de l'argent. Mais évidemment les statistiques de l'enquête ne mentionnaient pas dans quelle mesure la clientèle de cet utilisateur a augmenté ni dans quelle mesure ses clients y ont gagné en achetant un produit plus sûr et plus régulier.

Enfin, je voudrais signaler que le niveau de vie (qui, je le reconnais, dépasse quelque peu le cadre

de notre débat) a également des répercussions sur la productivité. Les applications médicales des radioisotopes ont aussi un aspect économique, non seulement parce que le travailleur satisfait a une meilleure production, mais aussi parce que, prenant moins de congés de maladie, il peut produire davantage dans l'année. L'amélioration des techniques de

diagnostic au moyen du radioiode, la diminution des cas d'infection post-opératoire grâce à l'emploi de seringues hypodermiques stérilisées (maintenant livrées à la consommation en grande quantité par deux grandes usines construites au Royaume-Uni) sont des exemples typiques des facteurs qui contribuent ainsi à l'accroissement de la productivité.

ASPECTS ADMINISTRATIFS DE LA PRODUCTION DES RADIOISOTOPES

L'essor actuel de l'énergie atomique et les problèmes administratifs qu'il pose ont été examinés au cours des Journées d'études à l'intention des administrateurs d'établissements d'énergie atomique qui se sont tenues au Siège de l'Agence du 30 septembre au 4 octobre 1963. Cette réunion portait notamment sur les questions suivantes : radioprotection, radioisotopes et sources de rayonnements, réacteurs de recherche, énergie d'origine nucléaire, questions juridiques, gestion technique et scientifique, rôle des universités, rôle de l'Agence dans l'assistance aux pays en voie de développement.

Les possibilités de production de radioisotopes à l'aide des réacteurs de recherche ont été exposées par M. G. B. Cook (Division de la recherche et des laboratoires de l'Agence). On trouvera ci-dessous un résumé de sa communication. Un autre mémoire, présenté par M. U. V. Arkhangelski (Union soviétique), fait l'objet d'un article distinct du présent numéro.

M. Cook a commencé son exposé en comparant la production des radioisotopes à l'aide de réacteurs de recherche aux méthodes de production appliquées par les grands fournisseurs. La plupart des radioisotopes livrés par ces derniers sont obtenus dans des réacteurs ralentis au graphite, où le flux de neutrons est de l'ordre de 10^{12} n/cm².s et qui fonctionnent 24 heures par jour, en règle générale six jours par semaine. Est-il possible de réaliser les mêmes conditions dans les réacteurs de recherche ? La plupart d'entre eux offrent un espace suffisant - bien qu'en général moins grand que dans les réacteurs de production de radioisotopes - avec un flux de 10^{12} n/cm².s ; c'est le régime d'exploitation qui crée des difficultés, car il n'est pas habituellement établi sur la base d'une journée de 24 heures. Il faut trois fois plus de temps pour produire la même activité spécifique dans un réacteur fonctionnant huit heures par jour qu'il n'en faudrait s'il était exploité pendant 24 heures ; pour les radioisotopes de courte période, le facteur est supérieur à trois, du fait de la désin-

tégration pendant l'arrêt du réacteur. Une production régulière est difficile à assurer si l'on ne dispose pas des neutrons en permanence, comme c'est le cas pour beaucoup de réacteurs de recherche.

Au cours des premières années qui ont suivi l'introduction des méthodes radioisotopiques, les radioéléments étaient essentiellement produits à des fins médicales. En règle générale, il est possible de répondre aux besoins industriels et autres sans dépasser le cadre de cette production. Les radioisotopes les plus utilisés se répartissent en deux catégories : sources scellées, qui n'exigent aucun traitement après irradiation ; sources non scellées, qui nécessitent une préparation.

Les sources scellées peuvent être destinées à la médecine (application interne) ou à l'industrie. Les sources employées à des fins médicales doivent normalement avoir une intensité de l'ordre de 1 à 5 mc : or-198 sous forme de grains ; iridium-192, tantale-182 et cobalt-60 sous forme de fils. Pour obtenir une activité correspondant à 2,5 mc de chacun de ces radioéléments à l'aide d'un flux de neutrons de 10^{12}

Réacteur de recherche de 10 kW, au fond d'un puits de 6 m, rempli d'eau. Il est pourvu d'un porte-échantillons rotatif pour la production de radioisotopes (photo General Atomic)

