

Quelques activités de l'AIEA concernant l'emploi des radioisotopes et des rayonnements

par Alexander V. Shalnov*

L'emploi des radioisotopes et des rayonnements est appelé à se généraliser. L'utilité immédiate des applications des radioisotopes dans l'industrie, en médecine, en agriculture et dans différents secteurs est évidente. Par ailleurs, l'utilisation des radioisotopes et des rayonnements est un moyen efficace de vulgariser les questions de rayonnements et de radioactivité, y compris la radioprotection. L'un des avantages des techniques radio-isotopiques est qu'ils conviennent à de petits laboratoires, ceux des universités par exemple, où ils viennent renforcer les moyens d'enseignement de la science nucléaire. Extrêmement sensibles et facilement détectables, les radioisotopes sont également précieux pour l'étude de la répartition de nombreuses matières-poussières, air, eau et sols.

Le Département de la recherche et des isotopes de l'AIEA est responsable de l'exécution de la plus grande partie du programme relatif à l'emploi des radioisotopes et des rayonnements. Nous étudierons plus en détail certaines des activités de l'Agence en matière d'application des radioisotopes, notamment en hydrologie isotopique, en physique, dans l'industrie, en médecine et en agronomie.

Hydrologie

Les techniques isotopiques sont importantes pour les études sur l'environnement entreprises dans le cadre du programme d'hydrologie. Les isotopes naturels couramment utilisés à l'heure actuelle sont le déuterium et l'oxygène 18 (stables), et le tritium et le carbone 14 (radioactifs). Les trois premiers font partie de la molécule d'eau et leurs caractéristiques en font des indicateurs de l'eau très proches des conditions idéales. Le carbone 14 se présente en solution et il est donc susceptible de disparition par précipitation, absorption et échange.

Les mesures au moyen d'isotopes stables sont très utiles pour déterminer l'origine de l'eau. Les précipitations tombant en altitude, par exemple, sont plus pauvres en déuterium et en oxygène 18 que les précipitations tombant à basse altitude. Ce fait peut servir à déterminer si une nappe phréatique est alimentée par infiltration des précipitations tombant en plaine ou par infiltration des précipitations tombant en montagne et circulant sous le sol ou par ruissellement vers la plaine. A partir de ces renseignements on peut dresser le bilan hydrique d'une région. Une étude de ce genre faite au Nicaragua a permis de découvrir que

* Directeur de la Division de la recherche et des laboratoires.

Cet article est une version abrégée d'un rapport présenté par le Professeur Shalnov à la 12^{ème} conférence japonaise sur les radioisotopes. Il y a lieu de remercier les nombreux fonctionnaires de l'Agence qui ont contribué à ce rapport.

Le technetium 99 m est rapidement devenu un des radionucléides les plus utilisés en médecine nucléaire. La période radioactive du technetium 99 m est de six heures, ce qui correspond à une journée de travail. Pour répondre aux besoins des hôpitaux suédois, on a créé aux laboratoires Studsvik un service spécial des isotopes où l'on répartit la solution de pertechnetate de sodium en doses toutes préparées. ►
Photo: Ab Atomenergi



l'alimentation de la nappe phréatique d'une plaine côtière provenait d'altitudes supérieures à 280 mètres.¹

On peut étudier les interconnexions éventuelles entre nappes aquifères lorsque la composition isotopique stable de l'eau n'est pas la même dans les diverses nappes. En Algérie, on a trouvé deux nappes différentes dans leur composition isotopique² et pourtant alimentées par des eaux venant du même massif montagneux. Ce phénomène était dû au fait que l'eau de la nappe inférieure était beaucoup plus ancienne que celle de la nappe supérieure.

Les variations de la composition isotopique naturelle de l'eau peuvent aider à comprendre les mécanismes des phénomènes qui se produisent dans les systèmes hydrologiques. Ces techniques sont de plus en plus utilisées en recherche hydrologique, mais on n'a pas encore exploité toutes leurs possibilités.

Fluorescence X

Les rayonnements peuvent servir notamment à l'analyse par fluorescence X induite par des particules chargées. Le principe consiste à exciter les atomes de la substance à analyser en la bombardant de particules énergétiques.

La mise au point, pendant les dernières années, de détecteurs semi-conducteurs à forte résolution, a permis d'améliorer beaucoup les résultats de cette technique. Des détecteurs à Si(Li) et Ge(Li) avec des résolutions en énergie d'environ 180 eV dans la gamme de 1 à 10 keV sont capables de séparer des raies de rayons X. Il devient alors possible de procéder à une analyse multi-élémentaire qui permet d'identifier en même temps tous les éléments présents. Dans la méthode EXPC (émission de rayons X induits par des particules chargées), l'échantillon est bombardé par des faisceaux d'ions rapides (protons, particules alpha ou ions lourds) provenant d'accélérateurs électrostatiques de 1 à 5 MeV.

A l'heure actuelle, le programme de recherche coordonnée EXPC de l'Agence groupe neuf membres, dont six appartiennent à des pays en voie de développement, qui échangent les résultats de leurs expériences, font des comparaisons interlaboratoires d'échantillons, présentent des rapports sur les nouvelles techniques et se réunissent périodiquement dans l'un des centres où se poursuivent les recherches. Certains de ces projets de recherche présentent un intérêt particulier:

- Dans certaines parties de la Yougoslavie, les caries dentaires sont inconnues. L'analyse de l'eau potable a révélé non seulement une forte concentration de fluor, mais aussi de molybdène. La question se pose de savoir si le molybdène joue aussi un rôle important dans la prévention des caries dentaires.
- On a mesuré le soufre contenu dans des céréales pour tenter de rapprocher les valeurs obtenues avec certains amino-acides sulfuriques. S'il existe une corrélation, on pourrait rapidement et à peu de frais faire les analyses par EXPC, plutôt que par les méthodes biochimiques qui sont onéreuses et longues.
- En archéologie, la méthode est appliquée aux substances vitrifiées des poteries aux fins de comparaison avec les autres méthodes de datation.

¹ Payne, B.R., Yurtsever, Y., Les isotopes naturels dans l'étude hydrogéologique du Nicaragua, emploi des techniques isotopiques dans l'hydrologie des eaux souterraines, 1974 (Comptes rendus d'un colloque, Vienne, 1974), AIEA Vienne (1974) 1., 193-201.

² Gonfiantini, R., Dincer, T., Dereköy, A.M., Etude hydrologique du Hodna (Algérie) au moyen des isotopes du milieu, Ibid., 293-314.

- Dans les études sur la pollution, l'EXPC a déjà été utilisée pour déterminer la concentration du plomb dans divers produits des gaz d'échappement des automobiles (tableau 1)³. Les résultats sont donnés en ppm; la méthode se compare favorablement aux autres.
- Des études de la pollution ont déjà été entreprises sur des échantillons de poissons, de mollusques et d'herbes marines recueillis dans différentes parties de la Mer Noire.

TABLEAU 1. Contamination par le plomb de diverses matières situées à différentes distances d'une route (faible circulation)
(Les résultats sont donnés en ppm de matières sèches).

Echantillon	Distance de la route (m)	Polarographie	Absorption atomique	EXPC
Sable	0	1266	1030	939
Immondices	0	531	625	523
	50	144	201	216
	100	110	132	189
Compost	0	451	332	372
	50	126	135	145
	100	42	49	88
Bryophytes	0	214	272	303
	50	130	129	136
	100	91	113	125
Spermatophytes	0	91	63	61
	50	33	29	31
	100	28	30	24

Ces exemples montrent bien toutes les applications possibles de l'EXPC. A l'avenir, les travaux de recherche viseront à généraliser la méthode par normalisation de la préparation des cibles et par simplification des méthodes de détermination des concentrations absolues.

Accords de coopération régionale

Les accords dits de coopération régionale sont un aspect entièrement différent des activités de l'Agence internationale de l'énergie atomique. Dans le cadre de ses fonctions générales, l'AIEA a conclu des accords avec des Etats Membres sur un plan régional. Les Etats participants sont les suivants: Bangladesh, Inde, Indonésie, Malaisie, Pakistan, Philippines, République de Corée, Singapour et Thaïlande.

³ G. Deconninck, G. Demortier, F. Bodart, "Application of X-ray Production by Charged Particles to Elemental Analysis". Atomic Energy Review V. 13, No 2, juin 1975, pp. 367-412.

Les Etats Membres parties à cet accord reconnaissent l'existence, dans leurs propres programmes d'énergie atomique, de secteurs d'intérêt commun à l'intérieur desquels une coopération peut promouvoir une meilleure utilisation des ressources disponibles. C'est dans cet esprit qu'a été officiellement établi en 1972 le programme de coopération régionale par lequel les Etats Membres s'entendent, entre eux et avec l'Agence, pour promouvoir et coordonner des projets communs de recherche, de mise au point et de formation dans le domaine de la science et des techniques nucléaires par l'intermédiaire de leurs établissements nationaux spécialisés.

En septembre 1975, des représentants de 15 Etats Membres se sont réunis à cet effet pendant la dix-neuvième session de la Conférence générale de l'AIEA. Les entretiens ont porté essentiellement sur des programmes et des propositions visant à accroître la coopération dans les secteurs les plus importants pour la région envisagée, notamment dans les domaines suivants: augmentation de la production alimentaire, amélioration des soins médicaux, identification des polluants de l'environnement et multiplication des possibilités de formation de techniciens en rapport avec l'expansion des programmes nucléaires de la région.

Les techniques nucléaires et la recherche sur l'environnement

En 1975, l'Agence a entrepris la mise en oeuvre d'un nouvel élément de programme consacré aux techniques nucléaires et à la recherche sur l'environnement. Ses activités en matière de recherche sur les polluants non radioactifs sont motivées par deux raisons principales.

La première est que les techniques nucléaires constituent un moyen puissant de recherche sur l'environnement, dont l'usage devrait être beaucoup plus répandu. Elles permettent, notamment, d'utiliser davantage les réacteurs de recherche pour l'analyse par activation d'échantillons de l'environnement, et cela de plusieurs façons, comme nous allons le voir.

Pour commencer, les polluants inorganiques, mercure, cadmium, arsenic, sélénium, par exemple, peuvent être détachés dans des matrices complexes et à des concentrations pouvant descendre jusqu'à un milliardième. Dans certains cas on peut détecter des contaminants organiques comme les insecticides à base de brome.

En deuxième lieu, l'analyse des éléments-traces contenus dans des échantillons de l'environnement peuvent aussi servir à des études sur les sources de pollution.

On peut encore délibérément marquer les objets que l'on veut étudier avec des indicateurs activables — radioisotopes stables ou même éléments dont l'abondance naturelle est faible dans le système dont il s'agit. Cette méthode a été appliquée dans des études dynamiques sur la migration des insectes, la circulation atmosphérique, les phénomènes hydrologiques, etc. La sensibilité exceptionnelle de la méthode par activation neutronique en fait dans de nombreux cas un instrument d'analyse très précieux.

D'autres méthodes nucléaires méritent aussi de retenir l'attention. L'analyse par activation photonucléaire au moyen d'accélérateurs linéaires d'électrons et de bétatrons peut servir à identifier des contaminants comme le plomb et le fluore. L'analyse par fluorescence X, y compris le procédé d'excitation par des radioisotopes ou des protons provenant d'accélérateurs de faible énergie, se développe rapidement. La spectrométrie de masse a aussi été employée pour des études sur l'environnement.

La seconde raison pour laquelle l'Agence s'intéresse aux polluants non radioactifs est la nécessité de comparer les incidences probables de l'énergie nucléaire et les autres sources d'énergie sur l'environnement.

En 1975, l'AIEA a lancé, dans le cadre de ce programme, un premier projet consacré à l'analyse par activation neutronique, au moyen des réacteurs de recherche, des polluants présents dans le système pileux humain. Ce sujet a été choisi parce que dans la chaîne allant des sources de pollution à l'homme, c'est l'homme lui-même qui est naturellement l'élément le plus important. En outre, l'analyse des constituants de l'homme donne l'indication la plus immédiate de l'acuité du problème de l'environnement. La composition du système pileux reflète la charge corporelle de nombreux contaminants beaucoup mieux que la plupart des autres tissus y compris le sang. L'analyse du système pileux par activation neutronique s'est révélée une méthode efficace. Les échantillons sont faciles à prélever, à conserver et à expédier. On peut aussi faire des analyses sur des échantillons anciens.

Le programme a pour objectifs principaux de:

- 1) déterminer les doses de contaminants (tels Hg, As, Cd, Pb, Se, Br, Sb, Cr, Mn, Zn et Cu) pour la population normale selon les régions géographiques et économiques;
- 2) déceler les groupes de population et d'individus dont les doses de contaminants sont trop élevées ou chez lesquels le rapport contaminants/éléments essentiels est anormal.

A l'heure actuelle, 17 scientifiques de 12 pays (Autriche, Etats-Unis d'Amérique, Inde, Irak, Japon, Philippines, Pologne, République démocratique allemande, République fédérale d'Allemagne, Royaume-Uni, Tchécoslovaquie et Union des Républiques socialistes soviétiques) participent à ce projet.

Une version spéciale du projet a été proposée aux Etats Membres parties à l'Accord régional de coopération sur le développement, la recherche et la formation dans le domaine de la science et de la technologie nucléaires en Asie du Sud-Est et en Extrême-Orient.

Les radioisotopes en médecine

Dans les pays avancés, les radioisotopes sont très largement utilisés en médecine. La Section des applications médicales de la Division des sciences biologiques a pour mission principale de fournir avis et assistance à ceux qui souhaitent intégrer ces techniques dans leurs programmes médicaux.

Le programme de l'Agence est centré sur trois grands domaines de recherche:

- emploi *in vivo* de radioindicateurs soit aux fins de diagnostic chez les malades, soit pour l'étude de l'absorption et du métabolisme de diverses substances, éléments nutritifs par exemple, chez des sujets normaux;
- emploi des radioisotopes *in vitro* pour l'analyse d'hormones, de vitamines et autres substances biologiques;
- analyse par activation pour la détermination des éléments-traces dans les tissus biologiques.

Le programme médical se caractérise en particulier par la série de colloques qui ont lieu tous les quatre ans sur les procédés de visualisation scintigraphique. C'est un domaine de la médecine nucléaire qui a évolué particulièrement vite. Chaque réunion a été suivie par plusieurs centaines de spécialistes de la médecine nucléaire représentant des pays avancés et des pays en voie de développement et les comptes rendus publiés à l'issue des réunions font partie des documents de référence habituels pour qui veut se tenir au courant de l'actualité dans ce domaine.

Un autre exemple est le programme de recherche coordonnée AIEA/OMS sur la présence d'éléments-traces dans les tissus biologiques et leur rapport éventuel avec les maladies cardiovasculaires. Les méthodes d'analyse par activation neutronique ont été mises au point

pour l'analyse de certains éléments-traces et utilisées avec succès dans le cas de tissus recueillis dans plusieurs régions intéressantes en épidémiologie. La collaboration entre de nombreux laboratoires a contribué à stimuler l'amélioration des techniques et le rassemblement de données sur divers milieux.

Dans le cadre des activités de l'Agence dans le domaine médical, de nombreux experts ont collaboré pendant des périodes de plusieurs mois à un an ou plus à l'organisation de services de médecine nucléaire dans des hôpitaux de pays en voie de développement.

L'Agence estime que c'est à elle qu'il incombe de vérifier si les méthodes et les instruments réalisés dans les pays avancés conviennent aux pays en voie de développement. Elle a entrepris, à cet effet, un nouveau programme visant à dresser le bilan des renseignements obtenus par d'autres méthodes en médecine nucléaire, à définir les conditions que doivent remplir les modèles d'instruments utilisés pour les recherches en fonction des conditions qui existent dans les pays en voie de développement et à fixer les méthodes d'entretien des instruments après leur mise en service.

Les radioisotopes dans l'alimentation et en agriculture

Le programme de la Division mixte FAO/AIEA de l'énergie atomique dans l'alimentation et l'agriculture a été conçu pour aider les Etats Membres en voie de développement à utiliser les radioisotopes et les rayonnements pour résoudre leurs problèmes de production et de protection des denrées alimentaires et pour réduire au minimum la pollution des denrées alimentaires et du milieu agricole. Les méthodes nucléaires viennent compléter les autres techniques de recherche dans le domaine de l'alimentation et de l'agriculture et constituent souvent le moyen le plus efficace, voire le seul, de résoudre un problème particulier. Un exemple: étant donné la rareté et le prix élevé actuels de nombreux produits agricoles, les techniques nucléaires sont particulièrement utiles pour déterminer le meilleur mode d'application des engrais permettant de les maintenir dans la zone racinaire pour s'assurer que les insecticides produisent un minimum de dommages écologiques et pour améliorer les récoltes du point de vue de rendement, de la qualité et de la résistance aux maladies.

Le programme de la Division mixte a été élaboré après consultations entre la FAO et l'AIEA et il est mis en oeuvre en commun par les deux organisations. Il implique la coopération du PNUD pour l'assistance technique, de l'OMS pour la conservation des denrées alimentaires, et du PNUE et de l'OMS pour la pollution, l'entomologie et la lutte contre les insectes nuisibles. Une attention particulière est accordée à la coordination et au soutien de la recherche par l'intermédiaire d'un certain nombre de programmes de recherche coordonnée, dont chacun porte sur un problème bien défini. On dispose ainsi de toute la souplesse voulue et, par ailleurs, les activités sont très décentralisées puisque les recherches se font entièrement dans des établissements nationaux, ce qui vient renforcer leur potentiel de recherche. Le Laboratoire de l'AIEA à Seibersdorf appuie ces activités lorsque c'est nécessaire. A l'heure actuelle, il y a plus de 20 programmes en cours de réalisation, auxquels coopèrent près de 250 établissements scientifiques de toutes les parties du monde. Jusqu'à présent, le programme de la Division mixte a stimulé ou obtenu plusieurs résultats: amélioration de plusieurs variétés de plantes de culture et des techniques de sélection par mutations, mise au point de méthodes plus efficaces d'application des engrais phosphorés et azotés, emploi plus rationnel de l'eau pour l'irrigation, production à grande échelle de vaccins contre les strongyloses pulmonaires des ovins et des caprins ainsi que d'aliments pour les animaux à base d'azote non protéique, techniques très perfectionnées d'application de la méthode du mâle stérilisé pour la destruction d'un certain nombre d'insectes nuisibles, meilleure compréhension des processus de pollution chimique en alimentation et en agriculture, et progrès vers l'acceptation par le public de la radioconservation des aliments.