

# techniques nucléaires et lutte contre la pollution

La cité pittoresque de Salzbourg a été le lieu de réunion d'un important colloque appelé à examiner l'un des problèmes des plus urgents de notre époque, celui de la pollution du milieu ambiant.

L'industrialisation et l'urbanisation, qui sont à la base même de la vie moderne, présentent aussi des aspects négatifs, tels la contamination de l'eau, la détérioration de l'atmosphère ou l'empoisonnement du sol par les déchets toxiques de l'industrie.

Les polluants, dispersés chaque jour, menacent la santé humaine, mettent en danger la faune et la flore et compromettent, à la longue, l'équilibre de la biosphère.

Que peut-on faire pour résoudre ces problèmes? En particulier, comment la science nucléaire peut-elle contribuer à dépister le mal à y remédier?

Le colloque sur l'application des techniques nucléaires à la mesure et au contrôle de la pollution du milieu avait pour objet de faire un premier pas pour répondre à ces questions. Cette réunion de cinq jours, organisée par l'Agence Internationale de l'Energie Atomique, a attiré plus de 170 experts de 32 pays et de sept organisations internationales.

Le Professeur Vasilii Ferronsky, Directeur de la Division de la recherche et des laboratoires de l'AIEA, parlant au nom du Directeur Général, a résumé la situation comme suit: «Nous sommes appelés à déterminer dans quelle mesure nous pouvons tolérer le risque de pol-

lution, combien de temps nous pourrions encore supporter les dangers qui nous menacent si la situation continue d'échapper à tout contrôle. En présence de ces polluants nuisibles, il nous faudrait suivre leur mouvement et leur accumulation qui affectent nos ressources en eau, en air et en aliments. Pour l'amour de l'humanité, nous devons faire diligence pour découvrir les modes de cheminement, le dépôt et le sort de ces polluants dans la nature».

### Le bien-être de l'humanité

Les progrès récents des techniques nucléaires tels l'analyse par activation neutronique, la spectrométrie par fluorescence X, la chromatographie en phase gazeuse par capture électronique, la spectrométrie de masse et le comptage des faibles activités, permettront, selon le professeur Ferronsky, de définir plus facilement qu'autrefois les objectifs que doit poursuivre le contrôle du milieu. S'adressant au colloque, il a ajouté: «Grâce à votre contribution active, je suis convaincu que cette première réunion internationale sur l'application des techniques nucléaires à la solution des problèmes de la pollution nous donnera la possibilité de mieux connaître le milieu et marquera une date dans l'histoire de l'utilisation des radioisotopes pour le bien-être de l'humanité».

Le maire de Salzbourg, M. Heinrich Salfenauer, a rappelé le fait que 1970 a été proclamé l'année européenne de la protection de la nature. Il a déclaré: «En Autriche, pays de tourisme et de vacances par excellence, nous devrions tout spécialement concentrer notre attention sur ce problème».

M. Hans Lechner, gouverneur du pays de Salzbourg, a également souligné l'importance de l'étude scientifique des problèmes de l'environnement. «Nous ne devons pas, a-t-il dit, combattre la pollution de l'eau, de l'air et du sol en freinant le progrès technique et l'essor industriel. Dans ce cas le choix serait entre la pollution et la famine. Il nous faut chercher d'autres méthodes et explorer d'autres voies».

Pour les spécialistes présents, cela signifiait mesurer ce qui peut être mesuré, en espérant que les données empiriques obtenues et l'imagination des chercheurs permettront d'enrichir les connaissances et de mieux comprendre les phénomènes en jeu. Dans le contexte du colloque, on devait interpréter ces paroles comme incitant les experts à échanger des renseignements sur les techniques nucléaires qui permettent de mesurer et d'analyser le mouvement et le comportement des substances nocives dans l'air, dans l'eau et dans le sol. Quelques rares experts seulement ont douté que la tâche formulée dans la deuxième partie du titre du colloque «... contrôle de la pollution du milieu» fût particulièrement difficile à réaliser.

Cependant les participants sont convenus que les techniques nucléaires offraient des avantages substantiels par rapport aux autres méthodes du fait de leur sensibilité, de leur sélectivité et de leur fiabilité. Or, il arrive souvent qu'elles ne parviennent pas à s'imposer en raison de leur coût. Aussi plusieurs experts ont-ils suggéré qu'en appliquant une technique on fasse entrer en ligne de compte la qualité des résultats en plus du facteur coût. M. K. Ljunggren du Laboratoire des techniques isotopiques de Stockholm a déclaré: «La seule façon de juger les moyens de mesure nucléaires, qu'il s'agisse d'indicateurs, de méthodes d'analyse ou de jauges radioisotopiques, c'est en les comparant avec les autres méthodes de mesure ou instruments.»

## Préparation de la lutte

Une attitude ouverte à l'égard de toutes les méthodes ne mène pas nécessairement à la conclusion que les techniques d'analyse nucléaires sortiront perdantes de la compétition. Au contraire, ces techniques présentent un grand avantage: elles permettent de remonter à la source des polluants. A la longue, cet avantage peut devenir essentiel et permettra peut-être — sûrement même, comme bon nombre de participants l'espèrent — de préparer le terrain pour lutter efficacement contre la pollution du milieu.

On a aussi fait état d'un autre argument, à savoir qu'il n'est guère possible de procéder à une étude comparative des coûts valable dans tous les cas. Ce qu'il faudrait faire plutôt, c'est comparer simultanément les différentes méthodes et leurs résultats. «Dans les études sur l'environnement», écrit M. Ljunggren, «notamment celles qui commencent par un examen des systèmes écologiques, le prix de revient d'un échantillon est souvent très élevé; c'est pourquoi il semble plus raisonnable d'analyser chacun de ces précieux échantillons par la meilleure méthode disponible, au lieu d'essayer de réduire les frais d'analyse au minimum».

Des résultats très intéressants ont été obtenus par une nouvelle discipline scientifique: la radioécologie. En appliquant des méthodes nucléaires aux problèmes biologiques, des équipes de spécialistes de disciplines différentes procèdent à une étude systématique du milieu ambiant. Ils sont parvenus à déterminer les voies par lesquelles un milieu d'interdépendance biologique, dit système écologique, s'enrichit ou se transforme.

Il arrive souvent que le comportement et la composition des polluants varient durant leur séjour dans un milieu déterminé. Le mercure fournit un excellent exemple sous ce rapport. La discussion sur ce métal a été un des principaux moments du colloque. Le mercure dont on connaît depuis des années la toxicité sous forme de vapeur, ne comptait pas jusqu'à récemment parmi les polluants classiques tels que l'oxyde de carbone l'anhydride sulfureux, le plomb ou le DDT. Cependant, la pollution par le mercure est devenue un sujet de préoccupation dans diverses régions.

Aussi, des chercheurs yougoslaves ont-ils mesuré la fixation du mercure chez les animaux domestiques dans les environs d'Indrija (Slovénie) où se trouvent une mine de mercure et une usine de traitement de ce métal, en utilisant la méthode d'analyse par activation neutronique. Les animaux examinés n'ayant présenté aucun symptôme pathologique susceptible d'être attribué à une intoxication par le mercure, ces chercheurs ont déclaré dans leur rapport: «Les cas d'intoxication occasionnels parmi la population humaine, sont surtout des personnes nouvellement arrivées dans la région. Nous émettons l'hypothèse qu'il se produit une certaine accoutumance à l'accroissement des doses de mercure» dans le milieu ambiant. Des radioécologistes suédois ont exposé le phénomène de méthylation spontanée du mercure: des radicaux organiques se fixent sur le mercure pour former une combinaison stable qui est beaucoup plus dangereuse que les composés non organiques de cet élément ou le mercure sous forme métallique. On a émis l'hypothèse que d'autres éléments pouvaient être également sujets à des transformations métaboliques de ce genre. C'est pourquoi il a été proposé de mettre en oeuvre un programme de recherches portant sur l'arsenic, l'antimoine, le cadmium et le sélénium.



Quelque part en France — ce pourrait être aussi bien dans n'importe quel pays industrialisé. Les techniques nucléaires sont mises à contribution pour la lutte contre la pollution. Photo: UNESCO/F. Bibal

Loin d'aggraver la pollution du milieu, l'énergie nucléaire contribuera en fait à la réduire à mesure qu'elle remplacera les autres sources d'énergie électrique (cf. additif au rapport de l'Agence au Conseil économique et social des Nations Unies pour 1969—70). Sur notre photo, la centrale nucléaire de 500 MW(e) de Trawsfynydd (Merioneth, Pays de Galles). Photo: UKAEA



On a fait valoir que les transformations métaboliques dans les organismes ne pouvaient être identifiées qu'à l'aide de techniques nucléaires. La composition chimique des produits résultants, les métabolites, étant inconnue, les méthodes classiques ne sauraient être d'aucun secours. Par contre, l'étude des métabolites à l'aide de méthodes nucléaires peut non seulement fournir des données sur le comportement et le transport de certaines substances à l'intérieur d'un système, mais aussi permettre d'acquérir une connaissance approfondie de divers phénomènes naturels; en effet, les «indicateurs» utilisés pour l'exploration des processus microchimiques révèlent en même temps le fonctionnement des systèmes naturels.

L'application de l'analyse de systèmes aux problèmes de l'environnement promet des résultats intéressants. Un art nouveau, celui de confectionner des modèles de systèmes écologiques en calculant les entrées et les sorties pourrait offrir des moyens inédits pour simuler des processus naturels. Des analyses de systèmes à l'aide d'ordinateurs utilisant le répertoire des données empiriques relatives à l'environnement obtenues par la recherche écologique, pourraient contribuer sous peu à mieux connaître les problèmes de la pollution.

#### Indicateurs radioactifs ou indicateurs activables?

Le colloque a permis de constater que des divergences persistaient encore sur le point de savoir si les analyses par activation doivent être faites à l'aide d'indicateurs radioactifs ou activables. En ajoutant des radioisotopes aux matières à étudier, on a au moins l'avantage de pouvoir procéder à des mesures directes. Deux écoles de pensée existent au sujet de la lutte contre les rejets illégaux d'hydrocarbures dans les eaux navigables. Certains experts ont suggéré de faire des mesures analytiques pour identifier la source de mazout polluant, alors que d'autres se sont prononcé en faveur d'un marquage radioactif du carburant à l'origine. Les deux méthodes, semble-t-il, se prêtent à une application pratique. Le procédé analytique a peut-être plus de chance d'être utilisé dans l'avenir.

Sur un plan plus technique, les experts ont discuté des moyens d'améliorer la pureté des matières filtrantes et des matières étalons servant à comparer les éléments. On a estimé que la spectroscopie par fluorescence X constituait un instrument précieux pour le dosage dans l'eau des métaux lourds, tels le zinc, le cadmium et le plomb. Cette technique peut être utilisée pour mesurer la concentration d'anhydride sulfureux et de plomb dans l'air, l'eau et le sang, jusqu'à dix parties par million. Les techniques à double traceur utilisant la spectrométrie de masse et l'hexafluorure de soufre comme indicateur, et les méthodes fondées sur la libération de matières radioactives contribuent également au contrôle de la pollution, le deuxième procédé étant particulièrement efficace pour mesurer la pollution par les gaz d'échappement des automobiles.

Les spécialistes suédois venus au colloque ont également signalé que les mousses pouvaient servir «d'indicateurs naturels» de la pollution, notamment par les métaux lourds. A l'exception d'une perte négligeable due au lessivage par les eaux de pluie, les mousses retiennent ces métaux en raison de l'absence de tout échange avec le sol pour leur nutrition. En outre, tous les procédés d'analyse sont utilisables dans ce cas.

Aux Etats-Unis, on a commencé à appliquer les techniques isotopiques à l'étude des problèmes de l'environnement il y a une quinzaine

d'années. Depuis lors, les études se sont multipliées; elles visent surtout à dégager les problèmes particuliers à l'environnement et non à évaluer simplement l'intérêt éventuel d'une technique donnée. Aussi sont-elles de plus en plus appliquées par les «mésologistes» (spécialistes de l'environnement) et par les ingénieurs de la salubrité, et moins souvent par des spécialistes de la technologie des isotopes comme ce fut le cas dans le passé. M. W.E.Mott, de la Division des études isotopiques de la Commission de l'énergie atomique des Etats-Unis, a passé en revue les travaux exécutés à l'aide d'isotopes au cours des cinq dernières années dans les régions des Etats-Unis où le milieu est pollué. Après avoir évoqué les indicateurs isotopiques, les instruments à source radioactive, l'analyse par fluorescence X, les méthodes fondées sur la libération de matières radioactives, la spectrométrie Mössbauer et le traitement par irradiation des déchets ménagers et industriels, il a formulé les conclusions suivantes:

La base technologique nécessaire à l'application de l'analyse par activation neutronique aux problèmes relatifs à la pollution est solidement établie et actuellement exploitée de façon très variée;

Les possibilités de l'analyse par rayons gamma instantanés produits à l'aide de neutrons dans les études sur la pollution n'ont pas encore été évaluées;

Bien que des innovateurs soient à l'oeuvre, l'analyse par fluorescence X est relativement récente et la gamme des techniques de base nécessaires pour en faire un outil universel et précieux pour la mesure des polluants n'existe pas encore. Cependant cette méthode finira par jouer un rôle exceptionnel dans la mesure et le contrôle de la pollution;

Peu de travaux ont été fait jusqu'à présent sur l'utilisation de radio-indicateurs dans les égouts des villes. Il pourrait être très avantageux de les employer plus souvent au cours de l'étude et de l'exploitation des usines de traitement des eaux usées;

Les méthodes isotopiques et autres techniques nucléaires occupent et continueront d'occuper une place importante, surtout dans le domaine des analyses et des mesures;

A moins d'une réduction du coût et d'une modification des modes d'assainissement, le traitement par irradiation des eaux usées d'origine ménagère et industrielle n'aura pas de rôle important à jouer dans l'avenir immédiat.

Dans l'ensemble, M. Mott s'est montré optimiste au sujet de la lutte contre la pollution du milieu. «Aidés et conseillés par les techniciens des isotopes», a-t-il déclaré, «les divers spécialistes de la science de l'environnement utiliseront les procédés connus et éprouvés pour résoudre les problèmes relatifs à la pollution. Les techniques isotopiques seront une des armes du spécialiste et elles continueront d'apporter une contribution très précieuse au contrôle et à la réduction de la pollution au cours des prochaines années.»

## Eléments à l'état de traces dans l'atmosphère

Des spécialistes américains de l'Université de Michigan ont étudié le comportement et les variations des traces d'éléments dans les aérosols au-dessus de la zone fortement industrialisée du Nord West de l'Indiana et au voisinage d'agglomérations rurales. Une série de 25 échantillons

de filtres à air prélevés simultanément ont fait l'objet d'une analyse non destructive par activation neutronique en vue de doser 30 éléments à l'état de traces. Il est apparu qu'à proximité des grands complexes industriels, la concentration de plusieurs éléments était sensiblement plus forte. Ces techniques nucléaires permettent aussi de découvrir la source de la pollution. Ainsi, les spécialistes ont constaté que «certains polluants, tels Fe, Mn, Zn, Sb, Cr, W, Co, Sc, La, Ce, Th, Ca et Mg semblent nettement provenir de la sidérurgie locale et des industries connexes».

La pollution atmosphérique au-dessus de la mer est difficile à évaluer. Cependant, une concentration plus forte de plomb dans les échantillons de glaces polaires et d'eaux océaniques superficielles, la présence de pesticides dans la poussière transportée par les vents au-dessus de l'Atlantique et de l'Océan indien, et une augmentation générale de la concentration des aérosols du milieu, qui est probablement due à des activités humaines, indiquent que même l'atmosphère marine est de plus en plus contaminée. Les experts du Laboratoire de recherches navales des Etats-Unis à Washington, D.C., ont recueilli des échantillons à basse altitude à 80 km au large de la côte est des Etats-Unis, ainsi qu'à bord d'un navire durant une traversée de l'Atlantique entre les Caraïbes et la Méditerranée et à une station côtière des îles Hawaii. Des échantillons prélevés le long de la côte atlantique des Etats-Unis ont révélé l'influence exercée dans les régions côtières par les masses d'air polluées d'origine continentale; la présence de poussière d'origine africaine a été constatée en plein milieu de l'Atlantique. Pour déterminer la composition chimique des échantillons et l'origine des particules, on a employé différentes méthodes d'activation (neutrons, photons et protons).

Un autre moyen d'étudier les facteurs intervenant dans la pollution atmosphérique, notamment dans les phénomènes de vaste envergure, serait d'examiner les radionucléides produits par interaction entre rayons cosmiques et composants de l'atmosphère. Selon leurs caractéristiques physiques, ces radionucléides, dont la période varie de quelques minutes à plusieurs millions d'années, peuvent se fixer sur les aérosols atmosphériques et fournir ainsi des indications sur le comportement de ces derniers.

D'autres radionucléides peuvent servir à identifier l'origine de la pollution des mers par le mazout provenant de navires. Des spécialistes suédois de l'Université de Lund ont marqué le mazout d'un navire avec deux radionucléides de période différente, tels que l'iode-125 (période de 60 jours) et l'iode-131 (période de 8 jours). Il devient ainsi possible de déterminer l'activité relative des radionucléides contenus dans le polluant; on dispose ainsi d'un procédé simple de datation et d'identification. En employant trois nucléides ou plus, on en augmenterait encore la fiabilité.

Etant donné que l'AIEA avait organisé un groupe d'étude de l'analyse par activation dans l'étude du métabolisme des minéraux chez l'homme, qui s'est tenu à Téhéran en 1968, les experts ont examiné de près les niveaux «normaux» de divers éléments chez les animaux et les plantes dans des conditions de vie déterminées. Néanmoins, il reste encore, par exemple, à identifier plus de 70% des particules qui contaminent l'atmosphère des villes; on ignore si des traces de sélénium sont nuisibles ou indispensables aux divers organismes vivants, mais on sait que le cobalt et le molybdène sont utiles à de faibles concentrations.

Les participants au colloque de Salzbourg ont donc estimé qu'il faudra étudier les éléments-traces chez l'homme, les animaux et les plantes, élucider leur rôle physiologique et déterminer l'influence qu'ils exercent sur la biosphère. Les premières études ont déjà été faites. Hormis les travaux sur la fixation du mercure, signalés par les spécialistes suédois et yougoslaves, une équipe française du Centre d'études nucléaires de Grenoble a communiqué des données inédites sur la détection des éléments polluants retenus par les végétaux. A l'aide de techniques nucléaires (telles que l'emploi de neutrons thermiques provenant d'un réacteur ou de neutrons rapides de 14 MeV produits par un générateur), les experts ont analysé des résidus de pesticides tels que la «bouillie bordelaise,» des fongicides organiques à base de thiocarbonates de zinc et de manganèse, des insecticides à base d'arsenic et des composés à base de brome. La méthode s'est révélée assez satisfaisante pour analyser des parties de fruits frais ou des produits de l'industrie alimentaire. «Il devient possible», ont déclaré les spécialistes, «sans procéder à des travaux d'analyse inutiles, de dresser des cartes de la concentration de fluor dans diverses espèces végétales annuelles ou vivaces et de délimiter les zones atteintes».

Même des phénomènes peu importants peuvent contribuer à la pollution. MM. P. E. Wilkniss et D. J. Bressan, du Laboratoire de la recherche navale des Etats-Unis, à Washington D.C., ont décrit la pollution «sous la loupe». Lorsqu'une bulle de 1 mm de diamètre arrive à la surface de la mer, elle en émergera en partie en formant une minuscule calotte pelliculaire. En éclatant, elle projette jusqu'à 20 fragments de 1 à 20  $\mu\text{m}$  de diamètre et d'une teneur moyenne en sel de  $10^{-11}$  g. Puis, la cavité de la bulle se contracte et éjecte jusqu'à 4 gouttelettes, la plus haute atteignant 12 à 15 cm au-dessus de la surface; elle a un diamètre de 100  $\mu\text{m}$  et contient  $3 \times 10^{-8}$  grammes de sel.

Selon les chercheurs, les bulles sont d'origine différente: gaz dégagés au cours de processus biologiques dans les eaux naturelles; sorption de gaz dissous sur les particules en suspension; turbulences à la crête des vagues sous l'effet du vent; impact de flocons de neige ou de gouttes de pluie sur les plans d'eau. Ce qui est surprenant c'est que selon les évaluations de ces spécialistes,  $10^9$  tonnes de sels d'origine non organique provenant des eaux du globe sont ainsi chaque année éjectées dans l'atmosphère.

Malheureusement, par la faute de l'homme, cet impressionnant phénomène naturel est devenu une source importante de pollution. L'explosion des bulles répand dans l'atmosphère non seulement de grandes quantités de particules de sels, mais aussi de nombreuses substances nuisibles provenant des réservoirs de traitement des eaux usées, des cours d'eau, lacs, estuaires et baies contaminés et plus particulièrement du ressac le long des côtes, et des océans eux-mêmes.