

# AIEA BULLETIN



VOL.38, N°2  
1996  
VIENNE, AUTRICHE

REVUE TRIMESTRIELLE DE L'AGENCE INTERNATIONALE DE L'ENERGIE ATOMIQUE

ENVIRONMENTAL  
DEVELOPMENT  
DEVELOPPEMENT ET  
ENVIRONNEMENT  
ЭКОЛОГИЧЕСКИ  
РАЦИОНАЛЬНОЕ  
РАЗВИТИЕ  
DESARROLLO  
ECOLOGICO  
环境发展









**Page de couverture:** Les techniques nucléaires et apparentées aident les scientifiques dans leurs multiples efforts pour mieux connaître le monde changeant dans lequel nous vivons. Elles facilitent notamment l'étude de la pollution des villes et de l'atmosphère, de l'évolution du climat et de l'échauffement de la planète, des ressources en eau, de la protection du milieu et de sa régénération, et cela dans nombre de pays et de régions. L'énergie nucléaire sert aussi à produire de l'électricité tout en épargnant l'environnement, qu'il faut protéger par ailleurs en gérant judicieusement les déchets. Pour aider les responsables à choisir entre les diverses options énergétiques, l'AIEA participe à une évaluation comparative des effets écologiques et autres des déchets rejetés par les différents systèmes de production d'électricité.

(Maquette: Hannelore Wilczek, AIEA; Stefan Brodek, Vienne)

**Verso:** L'eau est un bien des plus précieux pour maints pays d'Afrique et d'autres régions arides du monde qui apprennent à mieux l'exploiter et à le préserver grâce à l'assistance technique de l'AIEA.

(Photo: Carnemark/Banque mondiale)

## SOMMAIRE

**Perspectives** L'évolution écologique dans son contexte: solution mondiale des problèmes  
*Pier Roberto Danesi et Hadj Slimane Cherif / 2*

Radioactivité et sciences de la terre: comprendre le milieu naturel  
*Kazimierz Rozanski et Klaus Froehlich / 9*

Protection de l'environnement: techniques analytiques nucléaires pour la surveillance et l'étude de la pollution atmosphérique  
*Robert M. Parr, Susan F. Stone et R. Zeisler / 16*

Mines d'uranium: le problème de la régénération de l'environnement  
*Giorgio Gnugnoli, Michele Laraia et Peter Stegnar / 22*

Développement durable et production d'électricité: impacts comparés de l'évacuation de déchets  
*Roger Seitz / 27*

**Encart** *Radiographie de la coopération technique: l'hydrologie isotopique*

**Repères** Pour la science et la technologie: centres de constantes nucléaires au service du développement  
*Hans Lemmel / 34*

Les partenaires pour le développement: experts en Malaisie  
*Ainul Hayati Daud / 39*

**Rubriques** Actualités internationales/Données statistiques / 42

Nouvelles publications de l'AIEA / 56

Vacances de postes à l'AIEA / 58

AIEA Bulletin 1995/Auteurs et collaborateurs / 60

Bases de données en ligne / 62

Colloques et séminaires organisés par l'AIEA/  
Programmes de recherche coordonnée de l'AIEA / 64

# L'évolution écologique dans son contexte: solution mondiale des problèmes

*Grâce au plan Vigie et à l'Action 21, l'Agence participe à l'effort mondial en vue de résoudre les problèmes de l'environnement*

par Pier Roberto Danesi et Hadj Slimane Cherif

Tandis que s'achève le deuxième millénaire, de graves problèmes menacent l'humanité proliférante: les conséquences de l'échauffement de la planète, le trou dans la couche d'ozone, la pollution des océans, des eaux douces, des sols et de l'atmosphère, l'amenuisement de la biodiversité, et la dégradation des terres et des sols. Les préoccupations semblent justifiées, tout au moins tant que les objectifs principaux du développement mondial seront la situation économique des pays les plus riches et leurs niveaux élevés de consommation et de production de déchets.

Comment pourrait-on évaluer plus justement l'impact des activités humaines sur l'environnement de notre planète, ainsi que l'ampleur de la croissance démographique?

Peut-être faudrait-il d'abord les placer dans le temps par rapport à l'âge de la Terre. Notre planète a pris forme il y a 4,5 milliards d'années environ. Les premiers organismes unicellulaires apparurent après un milliard d'années et quelque 2,5 milliards d'années s'écoulèrent avant que l'atmosphère contienne suffisamment d'oxygène pour les premières cellules évoluées, les eucaryotes, qui ont néanmoins tardé encore un milliard d'années. Dès lors, la vie s'est développée, mais il lui a fallu 1,5 milliard d'années pour amener l'environnement de la planète au stade qu'a connu le premier *homo sapiens*, il y a environ 100 000 ans. De fait, les quelque 4,5 milliards d'années qui se sont écoulées depuis la formation de la Terre ont été nécessaires à la constitution d'un environnement naturel sur lequel l'activité humaine n'a pratiquement eu aucun effet jusqu'il y a 10 000 ans environ.

M. Danesi est directeur des Laboratoires de l'AIEA de Seibersdorf et de Vienne. M. Cherif est conseiller spécial du Directeur général pour la coopération technique, l'énergie et la sûreté nucléaires et les applications des techniques nucléaires.

*L'horloge cosmique.* La succession des principaux événements qui ont marqué l'évolution de la Terre peut être transposée sur ce que l'on appelle l'«horloge cosmique» (voir la figure, page 4). Toute l'histoire de la planète y est réduite à une journée de 24 heures, le début étant fixé à 00:00 heure et le temps présent à 24:00 heures. Sur cette échelle, *homo sapiens* n'apparaît que deux secondes environ avant le temps présent. La rapidité des modifications induites est encore plus saisissante lorsque l'on sait que nos ancêtres vécurent de la chasse et de la cueillette jusqu'il y a 10 000 ans, date à laquelle l'agriculture fit son apparition, avec la domestication des végétaux et des animaux. Selon l'horloge cosmique, ce n'est qu'à un cinquième de seconde avant le moment présent que les collectivités humaines ont commencé à régner sur l'écosystème mondial au lieu d'en être simplement une partie intégrante (voir le tableau, page 4).

A mesure que l'agriculture se développe et modifie la surface de la planète, les excédents alimentaires favorisent les établissements humains permanents. Puis le travail des métaux produit de meilleurs outils pour manipuler l'environnement. L'agriculture et la fonderie progressent aux dépens de la forêt. Les terres défrichées sont mises en culture et le bois sert à la construction et à la préparation de charbon de bois pour la métallurgie en pleine expansion. Ces activités n'ont cependant qu'un effet modéré, sinon négligeable, sur l'environnement mondial jusqu'au début de la révolution industrielle, il y a environ 250 ans, soit 0,004 seconde avant le moment présent, toujours sur notre horloge cosmique.

Lorsque le charbon vient remplacer le bois comme combustible, la consommation de combustibles fossiles monte en flèche avec le début de l'industrialisation de l'Europe du Nord-Ouest, dont les effets écologiques se multiplient rapidement. L'intensification de l'agriculture et le développement





industriel, sources de ravitaillement assuré et de richesse à l'origine de la croissance démographique, deviennent par ailleurs un danger pour la biosphère. Toutefois, la population mondiale étant de l'ordre du milliard en 1830, il n'est pas surprenant que le monde mette plus d'un siècle à se rendre compte que le développement agricole et industriel a des effets sur l'environnement.

Le problème est de taille si l'on considère le taux de croissance démographique à partir de la révolution industrielle (*voir le graphique, page suivante*). Lorsqu'Aristote voit le jour, en 384 avant J.-C., la population mondiale est d'environ 200 millions d'habitants, et il faut attendre deux millénaires pour qu'elle atteigne les 500 millions, en 1650. Un siècle et demi plus tard, vers 1830, elle double et, un siècle plus tard, en 1930, elle s'élève à deux milliards.

Actuellement, après 65 ans, elle approche les six milliards et on compte qu'elle atteindra 12 milliards vers 2100. Cette progression est particulièrement alarmante car elle se manifeste presque exclusivement dans les pays en développement qui hébergent déjà 77 % de la population mondiale actuelle, alors qu'ils ne comptent que pour 15 % dans le revenu mondial.

De surcroît, la tendance actuelle pointe vers une concentration d'environ 50 % dans des mégalofoles tentaculaires de 15 à 25 millions d'habitants, ce qui

a des effets très négatifs sur l'environnement tant urbain que rural: d'énormes quantités de déchets solides, liquides et gazeux sont responsables des problèmes de pollution des eaux et de l'atmosphère et des conditions de salubrité catastrophiques dues aux déchets humains et industriels évacués sans que soient prises les mesures appropriées, par ailleurs onéreuses. Dans le même temps, l'espace rural tend à se dégrader car la migration vers les villes mène à l'abandon de pratiques agricoles saines pour l'environnement, telles que l'irrigation, la culture en terrasses et l'alternance des récoltes. La poussée des cultures de rapport ne fait qu'aggraver la situation.

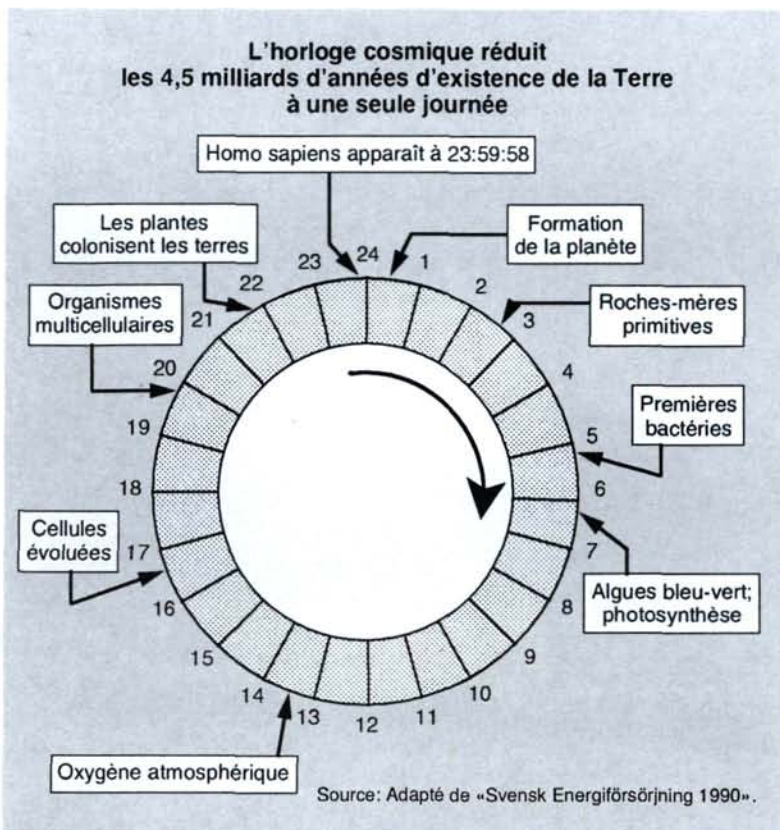
Il faut noter, néanmoins, que l'influence de la croissance démographique sur l'environnement est un phénomène assez complexe, qui comporte notamment de multiples corrélations entre les niveaux de revenus, la production et les habitudes de consommation. Par exemple, les pays industriels, qui représentent 23 % de la population mondiale, produisent actuellement plus de 75 % des déchets du monde entier: les niveaux de vie y sont élevés et de grandes quantités d'énergie sont nécessaires pour fabriquer les biens et assurer les services que les populations attendent.

Il n'est pas certain que la différence de revenus entre pays riches et pays pauvres diminuera dans l'avenir, mais il est probable que les revenus de

#### Rizières d'Indonésie.

(Photo: Curt Carnemark, Banque mondiale)

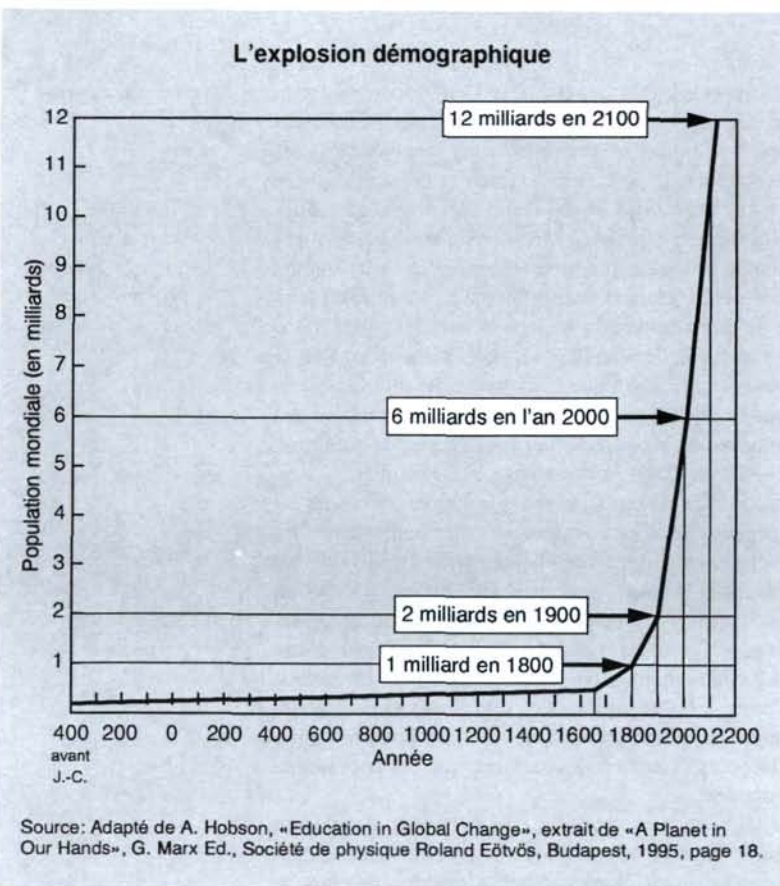




**Chronologie sommaire de l'évolution de la vie, de l'être humain et de la civilisation**

	Années avant le temps présent	A l'heure de l'horloge cosmique avant le temps présent
<b>La vie</b>		
Premiers vertébrés	500 millions	2 h 30 min
Premiers reptiles	300 millions	1 h 30 min
Premiers mammifères	200 millions	1 heure
Premiers primates	70 millions	20 min
<b>Les humains</b>		
Premiers hominiens	4 millions	80 sec
Outils de pierre	2 millions	40 sec
Homo sapiens	100 000	2 sec
<b>La civilisation</b>		
Invention de l'agriculture	10 000	0,2 sec
Début de l'urbanisation et de l'écriture	5 000	0,1 sec
Ere scientifique (Copernic)	500	0,01 sec
Ere industrielle	250	0,004 sec
Vingtième siècle	100	0,002 sec

Adapté de A. Hobson, «Education in Global Change», *A Planet in our Hands*, G. Marx, éditeur, Société de physique Roland Eötvös, Budapest (1995).



ces derniers augmenteront lentement d'ici à 2025. Selon les estimations, une faible augmentation de revenus associée à une forte croissance démographique ferait qu'à cette date environ la moitié des déchets mondiaux (et 85 % des déchets nouveaux) proviendront des pays en développement. Ce n'est donc pas la croissance démographique en elle-même mais son association avec un relèvement des niveaux de vie qui menace de précipiter la dégradation de l'environnement.

**Indices de l'évolution écologique**

C'est le moment de se poser une question légitime: dans quelle mesure l'humanité a-t-elle modifié l'environnement pendant les deux derniers millièmes de seconde qui représentent le XX<sup>e</sup> siècle sur l'horloge cosmique?

On a déjà beaucoup écrit sur l'effet de serre dû au dioxyde de carbone dégagé par les combustibles fossiles, et à d'autres gaz, et sur l'échauffement de la planète et sa détection éventuelle, ainsi que sur les causes et les conséquences de la destruction de la couche d'ozone et autres signes de changements locaux et planétaires de l'environnement dus à l'activité humaine. Malheureusement, on n'a pas encore trouvé d'indicateurs écologiques précis et l'on ne dispose le plus souvent que d'évaluations



approximatives. Quoi qu'il en soit, les indices sont assez alarmants. Quelques exemples suffiront à montrer l'ampleur des problèmes qui se posent à nous dans le présent et pour l'avenir.

On a calculé que, chaque seconde dans le monde entier, 1 000 tonnes de terre arable et 3 000 m<sup>2</sup> de forêt disparaissent; 2 000 m<sup>2</sup> de terre arable se désertifient, 1 000 tonnes de gaz indésirables sont rejetés dans l'atmosphère et 1 000 tonnes de déchets sont produits\*. On estime à près de 100 le nombre d'espèces vivantes exterminées chaque jour.

Au niveau de la production alimentaire, la dégradation des terres est l'un des grands problèmes écologiques. La croissance démographique, l'urbanisation et la nécessité de relever les niveaux de vie dans les pays en développement influent chaque jour davantage sur l'exploitation des terres. Apparemment du fait de la désertification, de l'érosion et de l'urbanisation, la superficie de terres arables par personne est passée, selon les estimations, de 0,45 ha en 1960 à 0,24 ha en 1995, et l'on prévoit qu'elle ne sera plus que de 0,13 ha en 2025. La dégradation des terres varie d'une région à l'autre, mais elle est surtout grave dans les pays les plus pauvres d'Afrique et d'Asie (voir le tableau). De plus, l'impact chimique et le manque d'eau agressent plus de 50 % des sols et, dans le monde entier, 11 % seulement des terres sont cultivables sans restrictions (voir le graphique).

La mobilisation des produits chimiques dans les eaux, les sols et l'atmosphère est aussi une grande préoccupation écologique. On dénombre aujourd'hui plus de 11 millions de substances chimiques, dont 70 000 sont couramment utilisées. L'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) a constaté que 1 500 produits chimiques seulement étaient produits en quantités supérieures à 1 000 tonnes par an, mais il est regrettable que l'on ne dispose de données fiables sur leur toxicité dans l'environnement que pour un petit nombre d'entre eux. En d'autres termes, on est amené à en fixer les limites dans l'environnement sans disposer la plupart du temps de connaissances scientifiques suffisantes. Cela peut avoir des effets négatifs sur les populations en cas de rejets non contrôlés de substances toxiques ou encore entraver le développement agricole et industriel si les autorités appliquent une réglementation trop rigide à des composés pratiquement sans danger.

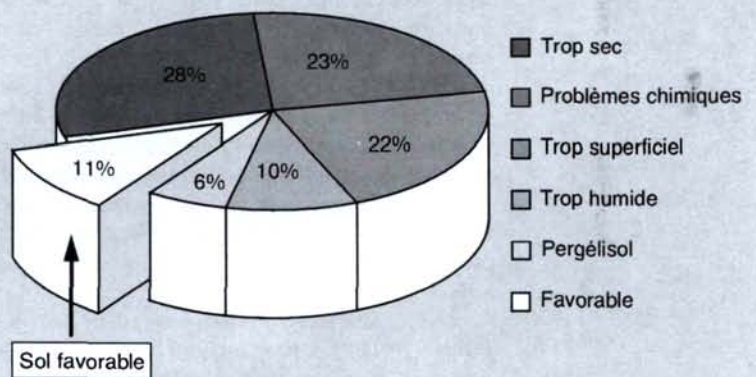
Autant d'exemples qui montrent pourquoi les facteurs environnementaux sont progressivement intégrés depuis quelques années dans la plupart des processus décisionnels aux niveaux politique et économique et sont devenus aussi fondamentaux que l'économie lorsqu'il s'agit de définir les directives du développement.

### Régions du monde souffrant de la dégradation des terres (en millions d'hectares)

Cause	Afrique	Asie	Amérique du Sud et Amérique centrale	Total
Erosion par l'eau	170	315	77	562
Erosion éolienne	98	90	16	204
Perte de nutriments	25	10	43	78
Salinité	10	26	—	36
			<b>Total</b>	<b>880</b>

Source: H. Oldeman et coll., 1990.

### Etats du sol défavorables à l'agriculture



Source: Extrait de «This is Codex Alimentarius», 2ème édition, FAO/OMS I/T353OE/1/5.94/5000.

### Réponse de l'ONU: l'Action 21

Le concept de développement durable est issu de la conviction que l'on peut relever les niveaux de vie élémentaires de la population mondiale sans nécessairement épuiser les ressources finies de la planète et sans nuire davantage à l'environnement. Au sommet «Planète Terre», réuni à Rio de Janeiro en juin 1992, un plan d'action a été formulé et adopté par la communauté mondiale. Ce plan dénommé Action 21 vise, comme son nom l'indique, le XXI<sup>e</sup> siècle\*. Il traite des nombreux problèmes urgents du

\* *Agenda 21: Earth's Action Plan*, annoté, D. Nicholas, A. Robinson, éditeurs, IUCN Environmental Policy and Law Paper No 27, New York, Oceana Publications (1993).

\* Voir *Environmental Management Handbook*, S. Ryding, IOS Press, Amsterdam, Oxford (1992).



monde et propose un certain nombre d'actions coordonnées confiées aux divers protagonistes des pays concernés, en fonction de leurs moyens, de leur situation et de leurs priorités, compte tenu des principes énoncés dans la déclaration de Rio sur l'environnement et le développement.

L'Action 21 porte sur un large éventail de sujets coiffé par la notion générale de développement durable. Elle se divise en 40 chapitres concernant notamment la lutte contre la pauvreté, la protection de l'atmosphère, la lutte contre la déforestation, l'agriculture durable, la gestion des produits chimiques toxiques et des déchets dangereux, et l'application de la science au développement durable. Sa mise en œuvre est confiée aux gouvernements, mais les efforts nationaux devront être soutenus et complétés par la coopération internationale.

Dans ce contexte, un rôle primordial revient au système des Nations Unies qui a pris d'importantes mesures dans ce sens. En 1993, l'Assemblée générale a créé une Commission du développement durable (CDD), composée de 53 Etats Membres élus de l'ONU et chargée de concrétiser la Conférence de Rio et d'assurer le suivi de la mise en œuvre de l'Action 21. Le Comité interorganisations du développement durable, auquel l'AIEA participe activement, veille à coordonner la participation des organisations et des institutions spécialisées de la famille des Nations Unies. L'AIEA a contribué aux travaux de la CDD dans plusieurs domaines, dont la santé, les terres, la désertification, les forêts et la biodiversité, l'atmosphère, les océans et les eaux douces, les produits chimiques toxiques et les déchets dangereux. Elle est également chargée des tâches relevant du chapitre 22 de l'Action 21 concernant les déchets radioactifs.

Le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) a pour mission de coordonner les activités écologiques au sein du système des Nations Unies; il a créé, en 1995, un groupe interorganisations de coordination pour l'environnement. L'AIEA est un membre actif de cet organe consultatif dont le mandat et le plan de travail sont préparés en étroite collaboration avec le Comité interorganisations du développement durable.

Au Secrétariat de l'AIEA, un groupe interdépartemental de coordination pour l'Action 21 a été constitué afin de coordonner le suivi des nombreux projets d'écologie et de développement durable dont s'occupent les divers départements, en vue de s'assurer qu'ils bénéficient de priorités convenables et de surveiller l'évaluation et l'appréciation des résultats.

**La technologie nucléaire au service du développement durable.** Elle peut être le moteur d'une exploitation plus efficace et plus rationnelle des ressources limitées de la planète et d'un développement durable. Le progrès scientifique et technologique est un facteur décisif de l'organisation et du rythme du développement des sociétés humaines dans le monde. On pense communément que la science et

la technologie peuvent aider à élaborer des méthodes permettant de concilier les besoins du développement et la préservation de l'environnement.

En particulier, l'utilité des applications possibles de la science et de la technologie nucléaires pour les pays tant industriels qu'en développement a été amplement démontrée. Cette science et cette technologie se sont avérées efficaces dans divers domaines, dont la santé publique, les ressources d'eau douce, l'évolution du climat, la protection de l'atmosphère, des mers et des océans, les approvisionnements alimentaires et l'agriculture durable. Les applications des techniques nucléaires et isotopiques peuvent intervenir largement dans pratiquement tous les domaines couverts par l'Action 21 et seront tout à fait indiquées pour la protection de l'environnement et le développement agricole et industriel durable. La technologie nucléaire s'inscrit désormais dans la vie quotidienne et les connaissances acquises pendant les 100 années qui ont suivi la découverte de la radioactivité sont toujours mises à bon usage pour le bien de l'humanité, tant sur le plan matériel que pour une meilleure qualité de vie.

---

#### **Le plan Vigie et la surveillance de l'environnement: contributions de l'AIEA**

Il y a près de 25 ans, en 1972, le plan Vigie a été institué dans le cadre du dispositif global des Nations Unies, coordonné par le PNUE, pour surveiller les grandes perturbations mondiales de l'environnement et donner l'alarme dès qu'un problème exige une solution urgente. En 1994, son objectif a été redéfini comme suit: *coordonner, harmoniser et intégrer les observations, les évaluations et les notifications dans tout le système des Nations Unies afin d'obtenir une information écologique et socio-économique appropriée pour la prise de décisions, aux niveaux national et international, concernant le développement durable et la notification rapide des problèmes nouveaux exigeant une action internationale.*

L'AIEA contribue à ce plan depuis sa mise en œuvre par ses activités en matière d'acquisition et d'évaluation de données écologiques, qui sont une part importante de son programme. Elle a tout spécialement pour mandat de fournir une aide technique globale en vue d'une évaluation de la pollution radioactive aux niveaux national, régional et mondial. Elle utilise aussi des techniques nucléaires et apparentées pour analyser les polluants non radioactifs et étudier les effets de la pollution sur l'être humain et sur l'environnement.

Pour le plan Vigie, l'Agence opère dans divers domaines: acquisition, évaluation et communication de l'information; mise en place des moyens; harmonisation et contrôle de la qualité des données, y compris la normalisation des méthodologies pour assurer la comparabilité et la fiabilité de l'infor-

mation sur l'environnement aux niveaux national et international; et installation des systèmes d'alarme, de notification rapide et d'intervention d'urgence.

**Les domaines d'activité de l'AIEA.** L'Agence assure: l'analyse des contaminants radioactifs présents dans l'environnement et les denrées alimentaires; la surveillance de la radioactivité ambiante pour faire respecter les procédures autorisées; l'étude des polluants non radioactifs (métaux toxiques, composés organochlorés, pesticides) présents dans l'air, les eaux, les sols et le biote, à l'aide de méthodes analytiques nucléaires et apparentées; l'examen du transport des polluants dans l'air et dans l'eau; et l'analyse et l'évaluation de la sûreté des installations nucléaires.

**L'intervention d'urgence.** Le plan Vigie peut compter plus spécialement sur le système d'intervention d'urgence lié à la Convention sur la notification rapide d'un accident nucléaire et à la Convention sur l'assistance en cas d'accident nucléaire ou de situation d'urgence radiologique. Les Etats parties à la Convention sur la notification rapide, du 27 octobre 1986, sont convenus, dans le cas d'un accident impliquant une contamination radioactive transfrontière effective ou potentielle, de le notifier immédiatement à l'AIEA et aux pays qui risquent d'être atteints, et de fournir toute information complémentaire en vue des mesures correctives qui s'imposent. Aux termes de la Convention sur l'assistance, du 26 février 1987, les Etats parties s'engagent à fournir toute l'aide disponible aux pays confrontés à une urgence radiologique.

Aux termes de ces deux conventions, l'AIEA tient à jour une liste des contacts nationaux prévus pour recevoir les notifications et coordonner les mesures à prendre. Pour s'acquitter efficacement et rapidement de ses tâches, elle a constitué un groupe d'intervention d'urgence tout à fait compétent qui dispose du matériel de communication, des ordinateurs, de la documentation et des bases de données nécessaires. Si un événement appelle une action directe de l'AIEA, des experts parfaitement formés sont immédiatement disponibles.

**L'acquisition de données écologiques.** L'information recueillie par l'AIEA sur les polluants radioactifs et non radioactifs est analysée et mise à la disposition de la communauté internationale par l'intermédiaire de diverses publications.

L'acquisition des données se fait par plusieurs moyens:

- Les Laboratoires de l'AIEA de Seibersdorf, de Vienne et de Monaco analysent directement les échantillons, par des méthodes analytiques nucléaires et associées. Les échantillons sont prélevés par des experts de l'AIEA en mission ou sont envoyés à l'Agence de n'importe où dans le monde, notamment par l'intermédiaire d'un réseau de collecte;
- Divers laboratoires participent à des intercomparaisons consistant à analyser chacun les échantillons pour vérifier la fiabilité de leurs résultats;

- Programmes de recherche coordonnée;
- Questionnaires adressés aux Etats Membres;
- Publications scientifiques;
- Communications officielles d'Etats Membres, y compris leurs réponses à des demandes formelles;
- Les centres nationaux du Système international de documentation nucléaire (INIS), désignés par les gouvernements, sont maintenus en liaison étroite avec la direction d'INIS au siège de l'AIEA, à Vienne.

L'information concernant le plan Vigie directement produite ou acquise par l'AIEA se classe dans les catégories suivantes:

- Concentrations de radionucléides, de métaux à l'état de traces et de composés organiques dans le sol, l'air, les aérosols solides, les eaux douces, les aliments et le milieu marin (eau, sédiments et biote). Les données analytiques concernent (1) les radionucléides anthropiques et naturels: strontium 90, ruthénium 106, antimoine 125, césium 134 et 137, plutonium 238, 239 et 240, américium 241, iode 129, potassium 40, plomb 210, polonium 210, radium 226 et 228, actinium 228, thorium et uranium; (2) les principaux éléments: calcium, potassium, sodium et magnésium; les éléments traces: aluminium, baryum, chrome, fer, manganèse, rubidium, strontium et zinc, ainsi que les éléments ultra-traces: argent, arsenic, césium, cadmium, cobalt, europium, mercure, lanthane, plomb, antimoine, scandium, sélénium, thorium, uranium et vanadium; (3) les polluants organiques: pesticides chlorés, herbicides, PCB et composés du pétrole. La mesure des radionucléides accidentellement rejetés dans l'environnement est comprise dans l'opération;
- Performance des laboratoires d'analyse des Etats Membres en matière d'auto-évaluation — l'effort porte essentiellement sur la production de données analytiques mondialement acceptables; matières biologiques et environnementales de référence; et intercomparaisons à l'aide de ces étalons;
- Evacuation de déchets radioactifs dans les océans avec inventaire des matières radioactives pénétrant dans l'environnement marin. L'information est groupée dans une base de données qui renseigne sur les radionucléides introduits dans les océans à la suite d'accidents, tels le naufrage de sous-marins nucléaires et le retour de satellites;
- Concentrations de tritium, de deutérium et d'oxygène 18 dans des échantillons composites de précipitations, avec quelques données météorologiques choisies, telles que le volume mensuel moyen des précipitations, le type de précipitation, la pression de vapeur et la température de l'air en surface;
- Evolution de la matière organique et des nutriments dans les sols, dont l'azote, le phosphore et le soufre, résultant de modifications de la gestion des terres et de la déforestation — les données sont qualitatives et quantitatives; calcul des quantités d'azote lixivié par les eaux après application

d'engrais chimiques et mesure des pertes par érosion dans les bassins hydrographiques;

- Gaz à effet de serre, flux d'énergie et de matières aux différents stades des chaînes énergétiques (combustibles fossiles et nucléaires, énergies renouvelables);

- Variations de la composition isotopique de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> et CO atmosphériques dans le temps et dans l'espace à l'appui des études sur les changements climatiques mondiaux; et variations de la teneur isotopique des dépôts lacustres, des spéléothèmes, des cernes des arbres, etc., pour déterminer les variations climatiques passées et leur cause;

- Gestion des déchets radioactifs dans les Etats Membres, notamment en ce qui concerne les plans et programmes d'évacuation des déchets, les volumes prévus et accumulés, les volumes stockés, les politiques nationales et la réglementation;

- Réacteurs en exploitation, en construction et à l'étude dans le monde, et réacteurs de recherche;

- Sûreté des centrales nucléaires — les données sont communiquées par les Etats Membres de l'AIEA par l'intermédiaire des missions d'experts: évaluation des événements significatifs pour la sûreté, examen de la sûreté d'exploitation, système de notification des incidents dans les centrales nucléaires, échelle internationale des événements nucléaires, examen de la sûreté au stade des études, examen international de la sûreté radiologique et examen des évaluations relatives au transport.

De même, des renseignements sont obtenus sur les infrastructures de radioprotection et de gestion des déchets par l'intermédiaire des équipes d'évaluation de la radioprotection et des programmes d'évaluation de la gestion des déchets.

Enfin, INIS recueille des données bibliographiques sur les publications ainsi que des textes non commercialisés concernant toute question du domaine public relative aux aspects écologiques et économiques de l'énergie nucléaire et autres sources d'énergie.

#### *L'analyse et la distribution de l'information.*

L'AIEA analyse et évalue les données: évaluation comparative des risques, pour la santé et l'environnement, de l'enfouissement à faible profondeur de déchets solides dangereux; évaluation du contrôle isotopique des gaz à effet de serre dans l'atmosphère; application de méthodes intégrées d'exploitation, de gestion et d'utilisation des ressources hydrauliques; analyse et évaluation de la sûreté des installations nucléaires à l'aide de matières nucléaires, de radio-isotopes ou de rayonnements ionisants; et analyse et évaluation des polluants radioactifs et non radioactifs du milieu marin.

Considérant que l'information est une importante contribution au processus décisionnel et à l'instruction du public en matière d'environnement, l'Agence publie toute une documentation comportant des revues scientifiques et techniques, des communiqués de presse, des documents techniques, des recueils de

données et des rapports. Des normes, guides, recommandations et procédures concernant la sûreté, ainsi que des rapports techniques sont publiés chaque année. Les catalogues et rapports du Service de contrôle de la qualité des analyses contiennent des données bibliographiques et des résultats d'intercomparaisons de données analytiques. Certaines productions documentaires et autres bases de données, telles celles d'INIS et du Réseau mondial de surveillance des isotopes dans les précipitations, sont désormais disponibles sur CD-ROM et par l'intermédiaire du service informatique de l'AIEA basé sur Internet.

#### **Un service en continu**

La dimension planétaire des problèmes écologiques appelle chaque jour davantage une réponse concertée et convaincue. Du fait de la croissance démographique, en particulier dans les pays en développement, les besoins des citoyens exerceront une pression de plus en plus forte sur les moyens dont disposent les villes et les pays. Un surcroît d'effort sera probablement sollicité, exigeant des décisions fondées sur des faits, tenant compte de l'environnement et économiquement saines.

Par diverses voies, l'AIEA collabore étroitement avec ses partenaires internationaux pour faciliter la prise de décisions et contribuer ainsi à l'effort déployé dans le monde pour surveiller et juger l'évolution de l'environnement. L'importance de cette tâche ne fera que croître avec les années, tandis que nous nous efforcerons sans relâche de comprendre et de résoudre les problèmes ardu d'un développement respectueux de l'environnement.



# Radioactivité et sciences de la terre: comprendre le milieu naturel

*La radioactivité terrestre facilite l'étude de processus géologiques  
et des changements du climat mondial*

**P**ratiquement toutes les substances naturelles contiennent plus ou moins de radionucléides. Cette radioactivité naturelle, découverte il y a un siècle par le physicien français Henri Becquerel, trouve aujourd'hui une application pratique dans maints domaines de la science et de l'industrie.

L'étude du transfert des radionucléides naturels selon leurs propriétés physiques et chimiques permet de retracer l'évolution de la croûte et du manteau terrestres, d'élucider le cycle hydrologique ainsi que certains aspects de la composition de l'atmosphère. La radioactivité des roches, des minéraux, de l'eau et de la matière organique est largement utilisée pour dater les matières d'intérêt géologique et archéologique, ainsi que les eaux souterraines.

On pense que l'énergie libérée par la décroissance radioactive est une des principales sources de la chaleur intérieure de la Terre. La force motrice des mouvements tectoniques de la lithosphère, l'orogénie et les phénomènes volcaniques résultent probablement de la présence de radionucléides qui, même sur le plan local, serait à l'origine des flux thermiques importants constatés dans les roches de la croûte terrestre. Ces derniers provoquent des courants de convection dans les eaux souterraines qui peuvent aboutir à la formation de systèmes hydrothermiques et à une minéralisation associée.

La découverte, puis l'exploitation des réactions de fission et de fusion sont venues ajouter de nouveaux éléments aux matières radioactives déjà présentes dans l'environnement. Nombre de radionucléides ont été introduits dans l'écosystème planétaire, notamment par les essais nucléaires dans l'atmosphère et par les rejets de l'industrie nucléaire. Une étude de leur transport à travers les différents compartiments de l'écosystème mondial permet de mieux comprendre la dynamique de l'atmosphère et du cycle hydrologique (voir l'encadré).

M. Rozanski est membre de la Section d'hydrologie isotopique de l'AIEA, Division des sciences physiques et chimiques; M. Froehlich est chef de cette section.

## L'horloge naturelle de la Terre

L'application peut-être la plus caractéristique et la plus réussie de la radioactivité aux sciences de la terre est son emploi comme «horloge» naturelle pour établir la succession des divers processus qui se déroulent sur la planète. La remarquable souplesse de cette méthode permet de l'employer dans plus d'une quinzaine d'ordres de grandeur pour quantifier des phénomènes durant de quelques minutes à plusieurs milliards d'années. Pour dater avec précision un matériel géologique ou biologique, deux conditions essentielles sont à remplir: 1) la source et le récepteur possible du radionucléide utilisé doivent être soigneusement déterminés; 2) l'état physique passé du système à dater doit être connu ou évalué (système ouvert ou fermé).

Divers radionucléides sont utilisés à cette fin en géologie et en archéologie: les produits de la nucléosynthèse stellaire (radionucléides primordiaux), les descendants des chaînes de désintégration naturelle, les produits des réactions nucléaires naturelles dans l'atmosphère (d'origine cosmique) et la lithosphère (produits *in situ*), et ceux des réactions nucléaires artificielles (d'origine anthropique).

Voyons comment fonctionne cette horloge. Son principe: la décroissance radioactive est indépendante des conditions physiques et chimiques et des changements qui interviennent dans l'environnement; le taux de décroissance d'un radionucléide est fonction de sa période, c'est-à-dire le temps dont un nombre déterminé d'atomes de l'élément a besoin pour diminuer de moitié. Pour obtenir une datation précise, il faut employer un radionucléide dont la période est du même ordre que l'âge de la matière à dater. Fort heureusement, les périodes des radionucléides naturels varient de moins d'une seconde à plus de  $10^{10}$  années (voir le tableau, page suivante). Par conséquent, la plage de datation est extrêmement étendue et englobe l'âge de la Terre et du système solaire. Certaines méthodes de datation exploitent le rapport entre le radionucléide et son

par Kazimierz  
Rozanski et  
Klaus Froehlich

## Principales applications aux sciences de la terre des radionucléides naturels et artificiels

### Etude de l'atmosphère

- Processus de dispersion, de transport et de mélange, à l'échelle locale, régionale et mondiale (tritium, krypton 85, radon 222, carbone 14)
- Transport de la vapeur d'eau (tritium)
- Echange stratosphère-troposphère (tritium, carbone 14, krypton 85, béryllium 7, béryllium 10)
- Sources et récepteurs de CO<sub>2</sub> et CH<sub>4</sub> (tritium, carbone 14)
- Dépôt d'origine atmosphérique (chlore 36, béryllium 7, béryllium 10, strontium 90, césium 137)

### Etude de l'hydrosphère

#### Hydrosphère continentale

- Alimentation des eaux souterraines (tritium, chlore 36)
- Etudes de la dispersion dans les eaux de surface (tritium)
- Etudes de l'aération (krypton 85)
- Interaction eaux de surface-eaux souterraines (tritium, radon 222, carbone 14)
- Datation des eaux souterraines (tritium, carbone 14, krypton 85, argon 39, chlore 36, krypton 81)
- Interaction roches-eau (uranium 238, uranium 234, radium 226, radium 228)
- Taux de sédimentation dans les lacs naturels et artificiels (césium 137, plomb 210)
- Evacuation des déchets radioactifs (chlore 36, iode 129)

#### Océans

- Processus de circulation et de mélange (tritium, carbone 14, krypton 85)
- Age des masses d'eau (tritium, carbone 14, argon 39, krypton 85)
- Transfert aux océans du CO<sub>2</sub> d'origine anthropique (carbone 14)
- Datation des sédiments océaniques (carbone 14, potassium 40)
- Variations du niveau des mers dans le passé (carbone 14, uranium 234, thorium 230)

### Etude de la lithosphère

- Datation des roches et des minéraux (potassium 40, argon 39, rubidium 87, lutécium 176, hafnium 174, samarium 147, néodyme 143, rhénium 187, radionucléides de la famille de l'uranium et du thorium)
- Datation des dépôts de carbonates (carbone 14, uranium 234, thorium 230)
- Datation des sédiments lacustres (césium 137, plomb 210, carbone 14, uranium 234, thorium 230)
- Datation de l'exposition en surface (béryllium 10, carbone 14, aluminium 26, chlore 36)
- Erosion des sols (césium 137, plomb 210, béryllium 10)
- Prospection minière (radionucléides de la famille de l'uranium et du thorium)
- Sismologie (radon 222)
- Paléosismicité et éruptions volcaniques (chlore 36, aluminium 26, béryllium 10)

produit de désintégration qui, en pareil cas, est généralement un nucléide stable.

Jusqu'au début du XX<sup>e</sup> siècle, les estimations de l'âge de la Terre variaient considérablement, de quelques dizaines de millions à plusieurs dizaines de milliards d'années. La question fut tranchée en 1929, lorsque Rutherford utilisa la radioactivité

## Radionucléides naturels et d'origine anthropique fréquemment utilisés en sciences de la terre

Nucléide	Période (années)	Origine*
Tritium	12,43	N + A
Béryllium 7	$9,7 \times 10^{-2}$	N
Béryllium 10	$1,6 \times 10^6$	N
Carbone 14	5730	N + A
Silicium 32	140	N
Chlore 36	$3,01 \times 10^5$	N + A
Argon 39	269	N
Krypton 85	10,76	A
Krypton 81	$2,1 \times 10^5$	N
Iode 129	$1,57 \times 10^7$	N + A
Potassium 40	$1,31 \times 10^9$	N
Rubidium 87	$4,88 \times 10^{10}$	N
Césium 137	30,17	A

### Radionucléides de la famille de l'uranium et du thorium

Uranium 238	$4,47 \times 10^9$	N
Uranium 235	$7,13 \times 10^8$	N
Uranium 234	$2,48 \times 10^5$	N
Protactinium 231	$3,43 \times 10^4$	N
Thorium 230	$7,52 \times 10^4$	N
Radium 226	1602	N
Radium 228	5,75	N
Radon 222	$1,05 \times 10^{-2}$	N
Radon 220	$1,76 \times 10^{-6}$	N
Plomb 210	22,3	N

\* N — naturelle (désintégration des radionucléides primordiaux produits par la nucléosynthèse stellaire, interactions des rayons cosmiques avec l'atmosphère ou la croûte terrestre); A — anthropique (explosions nucléaires dans l'atmosphère et sous terre, industrie nucléaire, industrie horlogère, hôpitaux, etc.); N + A — apport important de sources naturelles et anthropiques.

récemment découverte pour mesurer l'âge des roches qu'il fixa à plusieurs milliards d'années par la méthode U-He. Le premier calcul précis de l'âge de la Terre et des météorites a été fait au début des années 50 en se fondant sur les isotopes stables du plomb, derniers produits de filiation de plusieurs familles radioactives. L'âge de la Terre a été fixé à 4,55 milliards d'années, chiffre généralement accepté aujourd'hui encore pour l'ensemble du système solaire.

### Détection de la radioactivité naturelle

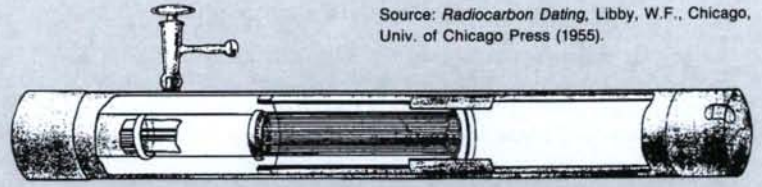
Les radionucléides naturels ont été découverts grâce aux rayonnements ionisants qu'ils émettent en cours de leur désintégration. La technique de «comptage» de ces rayonnements a été progressive-

### Datation au radiocarbone

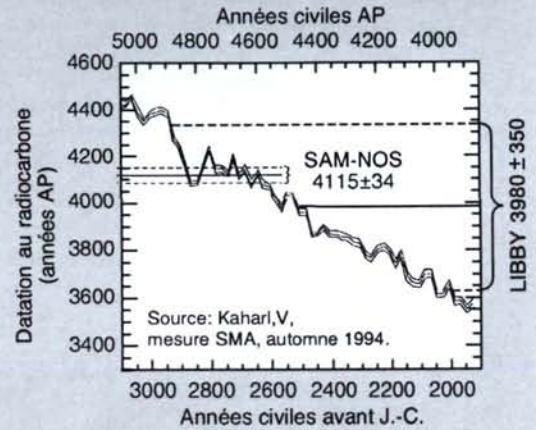
Compteur multifilaire à puits utilisé par Willard Libby pour doser le carbone 14 dans des objets archéologiques (à droite). Libby a reçu le prix Nobel en 1960 pour ses travaux sur la datation au radiocarbone. Notre photo montre un ensemble moderne de spectrométrie de masse par accélérateur (SMA) tandem, spécialement conçu pour le dosage du radiocarbone et disponible sur le marché. Le premier échantillon daté par Libby en 1948 était un morceau de bois d'acacia prélevé sur un meuble trouvé dans le tombeau du pharaon Djoser, à Saqqara (Egypte). Pour faire son analyse, Libby avait besoin de 20 grammes environ de ce précieux objet archéologique. Se fondant sur des événements cosmiques, des hiéroglyphes et autres données historiques, divers égyptologues s'accordaient pour dater le règne de Djoser vers 2600 avant J.-C. Comme le montre le graphique, Libby a daté son échantillon à 2030 plus ou moins 350 ans avant notre ère, soit 3980 plus ou moins 350 ans avant le temps présent (AP). En 1992, ce même échantillon a été le premier à être daté à l'aide du nouveau spectromètre de masse à accélérateur de l'installation National Ocean Sciences (NOS), Institut océanographique de Woods Hole, Massachusetts (Etats-Unis). Dans ce cas, environ 10 milligrammes seulement du bois d'acacia ont suffi pour l'opération. La datation SMA au radiocarbone du meuble du pharaon a donné 4115 plus ou moins 34 ans AP, c'est-à-dire dans les limites de l'erreur systématique par rapport à la première datation de Libby.

Pour convertir les années radiocarbone en années civiles, il faut opérer des corrections pour tenir compte des variations passées de la teneur en radiocarbone du dioxyde de carbone atmosphérique. Ces corrections se font à partir de la mesure des concentrations de radiocarbone dans une série de cernes d'arbres par des techniques dendrochronologiques. La datation SMA de l'échantillon d'après les cernes donne deux résultats avec un degré de confiance de 95 %: entre 2877 et 2800, et 2780 et 2580 avant J.-C. Ce résultat correspond aux estimations archéologiques. Toutefois, une variation très nette de la courbe d'étalonnage dans la fourchette du règne de Djoser exclut une estimation corrigée très précise de l'âge de l'échantillon.

(Photo: P.M. Grootes, Université Christian Albrechts, Kiel, Allemagne)



Source: *Radiocarbon Dating*, Libby, W.F., Chicago, Univ. of Chicago Press (1955).



ment mise au point depuis la découverte de la radioactivité naturelle, il y a un siècle. Le comptage de désintégration s'est imposé comme méthode et des matières très variées (gaz, liquides, semi-conducteurs, etc.) sont utilisées pour détecter les rayonnements ionisants émis par divers radionucléides. Comme les niveaux d'activité des radionucléides naturels sont généralement très bas, la sensibilité des détecteurs est souvent améliorée par des techniques très perfectionnées de traitement du signal et de réduction du bruit de fond. Pour les radio-isotopes de courte période, inférieure à un an, les techniques de comptage modernes sont suffi-

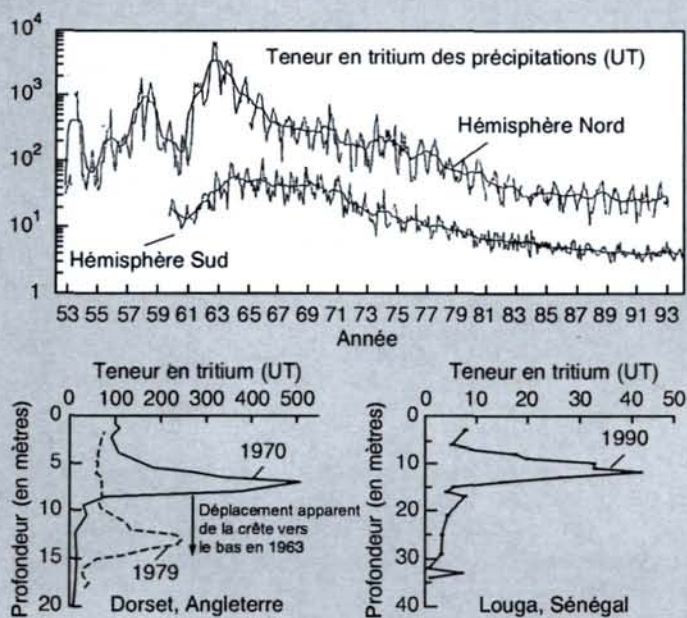
santes. Les radio-isotopes primordiaux de période supérieure à quelque  $10^9$  années sont relativement abondants dans la nature (puisque'ils ne se sont pas désintégrés complètement depuis la naissance du système solaire). Le comptage est alors remplacé la plupart du temps par une spectrométrie de masse classique portant sur l'accumulation des produits stables de désintégration. Les radio-isotopes de période intermédiaire, entre  $10^3$  et  $10^8$  années, sont difficiles à mesurer par comptage car une petite fraction seulement des atomes se désintègre dans un délai raisonnable. Par exemple, lorsqu'on mesure la concentration de carbone 14 dans un échantillon



### Concentrations de tritium résultant des essais nucléaires dans l'atmosphère

Le premier graphique montre l'augmentation de la teneur en tritium des précipitations à la suite des essais nucléaires dans l'atmosphère. Les concentrations sont relevées à l'échelle planétaire par le réseau mondial AIEA/OMM de mesure des isotopes dans les précipitations. Les résultats de deux séries de mesures de longue durée sont présentés ici pour les deux hémisphères.

Les deux graphiques suivants montrent la pénétration de la vague de tritium due aux essais nucléaires dans la zone non saturée d'une formation aquifère en zone tempérée (Dorset, Angleterre), et semi-aride (Louga, Sénégal). Dans le cas de Louga, où les mesures ont été faites dans le cadre d'un projet de coopération technique de l'AIEA, le taux moyen d'alimentation de l'aquifère au cours des trois dernières décennies a été estimé à environ 22 mm par an. Un taux aussi faible est très difficile à mesurer par les méthodes hydrologiques classiques.



organique à l'aide d'un compteur proportionnel à gaz ou d'un compteur à scintillateur liquide, en moyenne un seul atome sur  $10^6$  atomes de carbone 14 présents dans l'échantillon se désintègre et déclenche le signal. Il faut donc en pareil cas utiliser des échantillons relativement volumineux.

Les accélérateurs de particules du genre de ceux destinés à la recherche en physique nucléaire servent aussi, associés à des analyseurs de masse magnétiques et électrostatiques, à mesurer les très faibles concentrations de radio-isotopes. Les travaux dans ce domaine ont commencé vers la fin des années 70. Plusieurs radio-isotopes de longue période qu'il était extrêmement difficile de mesurer par comptage (béryllium 10, carbone 14, aluminium 26, chlore 36, calcium 41, iode 129) sont désormais couramment mesurés dans de petits échantillons naturels de l'ordre de  $10^5$  atomes ayant une teneur isotopique de  $10^{-12}$  à  $10^{-15}$ . Cette technique de spectrométrie de masse par accélérateur (SMA) a permis de réduire la taille des échantillons de plusieurs ordres de gran-

deur. La quantité de carbone nécessaire à la datation au radiocarbone par comptage est de quelques grammes, réduits à quelques dizaines de microgrammes grâce à la SMA. De même, la période de comptage est très sensiblement raccourcie. Depuis une dizaine d'années, la SMA est appliquée à la recherche, surtout en sciences de la terre (climatologie, cosmochimie, géochronologie, géomorphologie, hydrologie, glaciologie, prospection minérale et sédimentologie), en anthropologie et en archéologie (datation au radiocarbone) (voir l'encadré, page précédente), et, depuis quelques années, en science des matériaux et en biologie.

### Datation des eaux souterraines

Les isotopes radio-actifs ont trouvé de nombreuses applications en hydrologie. Le tritium et le carbone 14 sont largement utilisés comme «dateurs». Les essais thermonucléaires dans l'atmosphère pratiqués dans les années 50 et au début des années 60 ont libéré d'énormes quantités de tritium artificiel dans l'hydrosphère. L'observation de cette bouffée transitoire de tritium dans le cycle de l'eau a mené à maintes études hydrologiques à l'échelle mondiale, régionale et locale. Ce «tritium des bombes» est devenu un précieux indicateur des eaux jeunes dans les systèmes souterrains et un traceur utile pour la mesure du taux d'alimentation des formations aquifères, en particulier dans les régions semi-arides et arides (voir les graphiques ci-contre).

Malgré la complexité de la géochimie du carbone dans les eaux souterraines, on se sert désormais couramment du carbone 14 naturel et d'origine anthropique pour évaluer l'âge des eaux souterraines entre quelques milliers et quelques dizaines de milliers d'années. Par exemple, le radiocarbone a permis pour la première fois de déterminer l'âge des vastes réserves d'eaux souterraines du Sahara (voir le graphique, page suivante).

La SMA a également rendu possible l'utilisation de quelques nouveaux isotopes en hydrologie, tels le chlore 36 et l'iode 129. Grâce au chlore 36, les eaux souterraines de volumineux bassins sédimentaires, tel le Grand bassin artésien d'Australie, ont pu être datées jusqu'au million d'années. La mesure de l'iode 129 dans les formations aquifères profondes associées aux gisements de pétrole sert à déterminer l'origine et l'âge de ces eaux.

### Quantification de l'érosion et de la sédimentation

Les échelles de temps de l'érosion sont très variables: le phénomène peut être relativement rapide dans le cas des sols, et souvent provoqué par l'activité humaine, ou relativement lent dans le cas des roches exposées aux intempéries. L'érosion des sols



pose un grave problème dans plusieurs parties du monde du fait de son impact sur le développement agricole durable.

En principe, plusieurs radio-isotopes, tant naturels qu'artificiels, servent à évaluer le taux d'érosion des sols, selon l'échelle de temps considérée. Le césium 137 et le plomb 210, notamment, sont de loin les plus couramment utilisés.

L'AIEA a abordé ce problème avec son programme de recherche coordonnée (PRC) sur l'évaluation de l'érosion et de la sédimentation à l'aide des radionucléides de l'environnement et son application aux mesures de conservation des sols, auquel collaborent des établissements de recherche de dix Etats Membres. Le PRC vise à perfectionner les méthodes isotopiques servant à évaluer les taux d'érosion des sols dans diverses conditions climatiques et à mesurer le débit solide des bassins hydrographiques ainsi que l'envasement des lacs naturels et artificiels.

Pendant la dernière décennie ont été mises au point, grâce à la SMA, de nouvelles méthodes de datation des reliefs terrestres, lesquelles se fondent sur l'accumulation des radionucléides d'origine cosmique (béryllium 10, carbone 14, aluminium 26, chlore 36 et calcium 41) dans les roches exposées en surface. Ces derniers sont produits *in situ* par interaction des rayons cosmiques avec les atomes de minéraux — spallation sous l'effet de hautes énergies, capture neutronique et désintégration nucléaire induite par les muons. Leur datation se fait entre quelques milliers et plusieurs millions d'années.

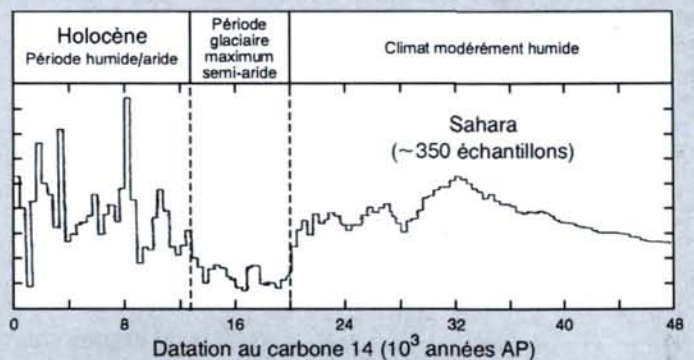
### Variations climatiques du passé

Des radio-isotopes très variés ont été utilisés, selon l'échelle de temps des phénomènes étudiés et la nature des échantillons à dater, pour reconstituer chronologiquement les modifications du climat et de l'environnement dans le passé. Au cours des 40 dernières années, on a procédé à des centaines de milliers de dosages du radiocarbone présent dans des matières sédimentaires océaniques et lacustres, des cernes d'arbres, des eaux océaniques, des eaux souterraines et dans le dioxyde de carbone atmosphérique.

Par ailleurs, la datation à l'uranium-thorium est de plus en plus courante, notamment sous sa forme moderne qui permet de détecter les isotopes de l'uranium et du thorium dans l'échantillon par spectrométrie de masse à thermo-ionisation (SMTI) et non plus par comptage du rayonnement de désintégration et de dater des matières géologiques (carbonates, sédiments) vieilles de quelque 350 000 ans. Pour les reconstitutions à haute résolution des changements climatiques vers la fin de la dernière période glaciaire, il importe tout spécialement de déterminer les teneurs passées de l'atmosphère en carbone 14, lesquelles sont soumises aux variations du taux

### Distribution des fréquences de l'âge radiocarbone d'échantillons d'eaux souterraines prélevés au Sahara

L'existence de vastes réserves d'eaux souterraines gisant en profondeur sous le plus grand désert du monde n'est connue que depuis le début de ce siècle, et ce n'est qu'après la mise au point de la datation au carbone que l'on a pu évaluer l'âge de ces eaux. D'après le graphique (fondé sur l'analyse de 350 échantillons prélevés en Algérie, en Egypte, en Jamahiriya arabe libyenne et dans le Sud saharien), il est évident que les aquifères d'Afrique septentrionale ont été alimentés surtout pendant les périodes pluvieuses de l'Holocène et pendant les intervalles de la dernière glaciation. Le minimum qu'indique nettement la courbe entre 12 000 et 20 000 ans AP rend compte de la période d'aridité maximale. La connaissance de l'âge des eaux souterraines a un effet direct sur l'exploitation de ces ressources: l'absence de tritium et les faibles concentrations de radiocarbone donnent à penser que l'aquifère en question n'est pas alimenté actuellement.



Source: Sonntag et coll., *Radiocarbon*, 22 (1987), 871-879

de production de ce radioélément et aux modifications de la circulation dans les océans.

### Recherche du «récepteur manquant»

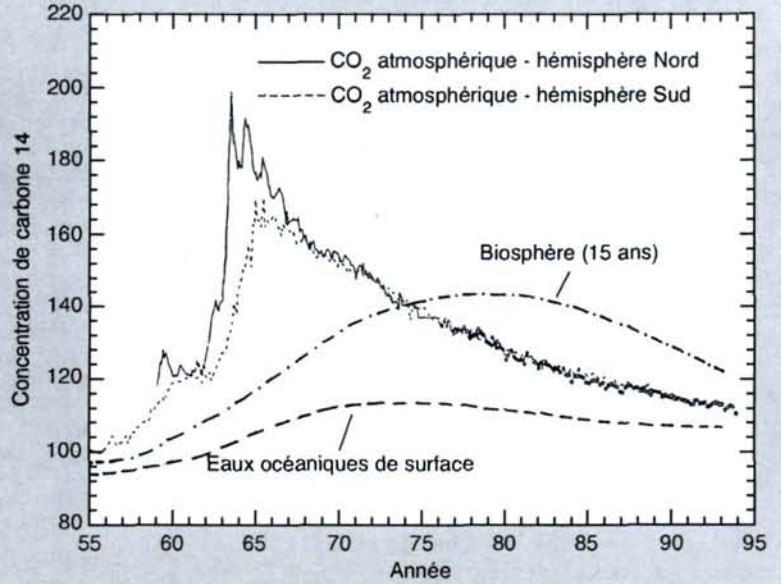
Les essais nucléaires dans l'atmosphère ont donné une impulsion caractéristique aux concentrations de carbone 14 dans le dioxyde de carbone atmosphérique (voir le graphique, page suivante). Cette poussée sert d'indicateur dans le cycle mondial du carbone, tout comme le tritium des bombes dans le cycle mondial de l'eau. La réserve atmosphérique du carbone 14 des essais s'épuise progressivement, et l'excédent d'activité dû à cet isotope se retrouve dans la biosphère et dans les carbonates océaniques. En observant l'évolution dans le temps du carbone 14 dans les réservoirs correspondants (atmosphère, biosphère, océans), on peut en savoir davantage sur les taux de transfert du carbone entre ces réservoirs, notamment entre l'atmosphère et les océans.

Il est absolument indispensable de connaître quantitativement le cycle mondial du carbone, car le dioxyde de carbone est le gaz à effet de serre le plus important et contribue pour environ 50 % à l'échauffement supposé de la Terre.



**Evolution de la concentration de carbone 14 dans le CO<sub>2</sub> atmosphérique à la suite des essais nucléaires**

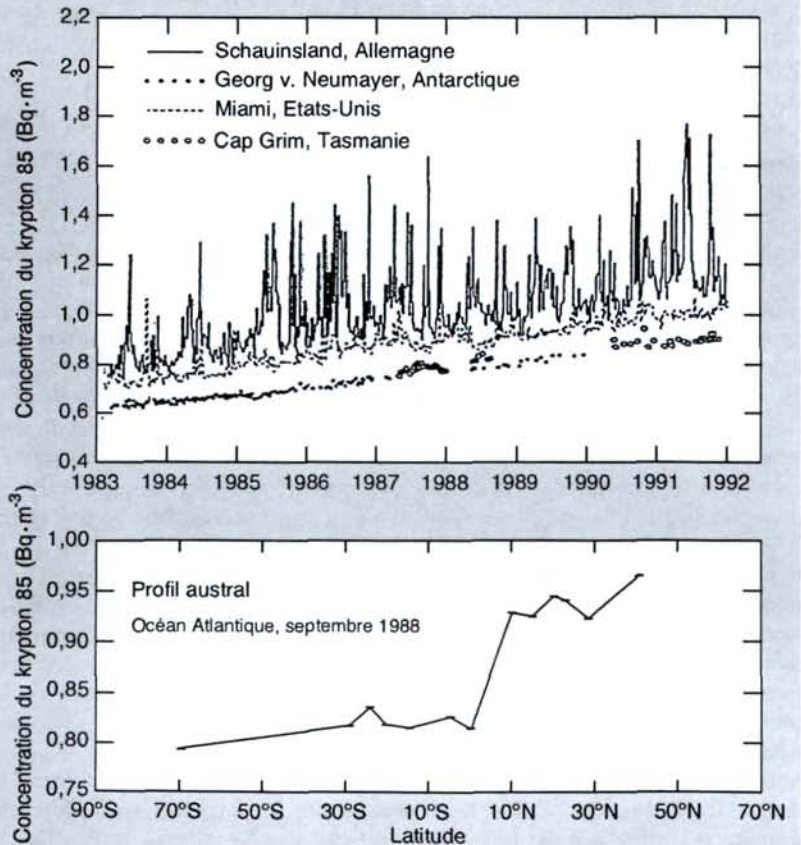
L'observation à long terme des concentrations de carbone 14 est faite par plusieurs stations réparties dans les deux hémisphères (Schauinsland, Allemagne; Station Neumayer, Antarctique; Izaña, Ténériffe, Espagne; Cap Grim, Tasmanie; Merida, Venezuela). Peu de temps après la signature du Traité de 1962 sur l'interdiction des essais dans l'atmosphère, le niveau du carbone 14 dans l'hémisphère Nord était deux fois plus élevé que le niveau naturel chiffré à 100 sur le graphique. La baisse du carbone 14 atmosphérique après 1963 est due à une forte absorption du carbone 14 des essais par les océans et la biosphère. La courbe en tirets pointés montre la réponse calculée de la biosphère à l'augmentation du carbone 14 dans le dioxyde de carbone atmosphérique, l'hypothèse étant que la biosphère est un réservoir bien mélangé avec un taux de renouvellement du carbone de 15 ans. La biosphère terrestre est probablement le réservoir le plus complexe qui participe au cycle mondial du carbone. L'observation du carbone 14 atmosphérique permet de déterminer la nature et la dynamique de ce réservoir.



Source: Hessheimer et coll., *Nature*, 370 (1994), 201-203; Levin, I., Thèse B, Université de Heidelberg (1994).

**Concentration de krypton 85 dans la troposphère**

Le krypton 85 (période de 10,76 ans) est un produit de fission qui se dégage dans l'atmosphère au cours du retraitement du combustible nucléaire épuisé. Sa concentration est toujours plus faible dans l'hémisphère Sud, car les principales usines de retraitement sont situées dans l'hémisphère Nord et une partie du krypton 85 rejeté à des latitudes nord moyennes se désintègre avant même son transport vers l'hémisphère Sud. La courbe de concentration du krypton 85 dans la troposphère méridionale, que montre le second graphique, sert à étalonner les paramètres physiques des modèles de circulation planétaire de l'atmosphère. Le krypton 85, gaz inerte, est un excellent indicateur des eaux souterraines récentes.



Source: Weiss et coll., STI/PUB/B59, AIEA (1992); W. Weiss, Fort. Strahl. Umwelt. Radioec. (1993).



Le bilan du cycle global du carbone fait apparaître un grand problème, celui du «récepteur manquant» du CO<sub>2</sub> rejeté dans l'atmosphère par les combustibles fossiles à raison de six gigatonnes par an. D'après les observations, à peu près 50 %, soit trois gigatonnes, demeurent dans l'atmosphère. Par ailleurs, les modèles de circulation océan-atmosphère indiquent que les océans ne sont capables d'absorber que deux gigatonnes par an. Il reste donc une gigatonne. Le «récepteur manquant» doit en fait recueillir le double, car la production de CO<sub>2</sub> dans la biosphère imputable aux changements de pratique agricole représente un apport de l'ordre d'une gigatonne par an.

Les résultats des observations du <sup>14</sup>CO<sub>2</sub> atmosphérique offrent un moyen séduisant de cerner le cycle global du carbone. De fait, une étude récemment publiée, fondée sur les analyses des concentrations de carbone 14 dans la troposphère, laisse entendre que les océans absorberaient environ 25 % moins de CO<sub>2</sub> d'origine anthropique qu'on ne le supposait. Aussi faut-il continuer à chercher le récepteur complémentaire qui n'apparaît pas dans le cycle mondial actuel du carbone.

#### **Amélioration des modèles de transport atmosphérique**

Le krypton 85 est rejeté dans l'atmosphère par les usines de retraitement du combustible nucléaire épuisé, dont les principales sont situées en Amérique du Nord, en Europe et en Fédération de Russie, entre 30° et 50° de latitude nord. Les concentrations actuelles de krypton 85 (environ 1 Bq·m<sup>-3</sup>) sont facilement mesurables par comptage du rayonnement de désintégration. Ce gaz est un excellent indicateur atmosphérique, car il est chimiquement inerte et s'élimine essentiellement par décroissance radioactive.

Une connaissance quantitative de la circulation atmosphérique mondiale est impérative pour faire des bilans planétaires valables des polluants atmosphériques et de leurs incidences climatiques. Deux aspects du phénomène doivent être correctement décrits: i) l'échange d'air à grande échelle entre l'hémisphère Nord et l'hémisphère Sud, ii) l'importance du mélange vertical. Vu la complexité des processus en question, il est indispensable de faire appel à des modèles numériques. Les modèles dits de circulation générale sont les plus élaborés et servent aussi à prédire les effets des émissions de gaz à effet de serre sur le climat. La distribution mondiale du krypton 85 est utile pour ajuster les paramètres des modèles relatifs au transport et au mélange à grande échelle intervenant entre les hémisphères Nord et Sud (voir le graphique, page précédente). D'autres processus à considérer, tel le mélange par convection à l'intérieur de la troposphère, en particulier dans les régions tropicales et au-dessus

des masses continentales de l'hémisphère Nord, ne peuvent être déterminés par la distribution atmosphérique du krypton 85, car les échelles de temps sont beaucoup trop limitées. Aussi faut-il recourir à d'autres indicateurs, tel le radon 222.

#### **Perspectives**

On ne saurait trop insister sur l'importance de la découverte de la radioactivité pour les sciences de la terre. Il y a longtemps déjà que les radioisotopes naturels sont une source de renseignements, et bien souvent la seule, sur la chronologie des phénomènes géologiques, l'histoire des météorites, les rayons cosmiques, l'évolution de l'être humain et la dynamique des systèmes biologiques. Les radioisotopes artificiels, bien que perçus par le public comme un danger pour l'environnement humain, se sont révélés d'excellents traceurs à l'échelle planétaire, qui nous aident à mieux comprendre le cycle hydrologique ainsi que les cycles biogéochimiques des éléments vitaux que sont l'azote, le carbone ou le soufre.

À l'aube du prochain siècle, les problèmes que pose l'évolution mondiale de l'environnement s'inscrivent parmi les premiers à l'ordre du jour de maintes organisations internationales, dont celles du système des Nations Unies. L'évolution hydroclimatique à court terme de la planète et l'influence de l'activité humaine sur le climat sont désormais les grandes questions que devront nécessairement aborder en priorité les scientifiques dans l'avenir immédiat.

La quantification des réactions possibles du climat terrestre aux contraintes d'origine humaine est cruciale, en particulier pour la zone intertropicale. Celle-ci, principalement occupée par des pays en développement, est soumise à des variations hydroclimatiques extrêmes, telles la sécheresse et les inondations, qu'il est essentiel, dans l'intérêt du développement durable de cette région, de pouvoir prédire à temps. Aussi les méthodes scientifiques fondées sur les isotopes tant radioactifs que stables sont-elles appelées à jouer un rôle important dans l'étude des mécanismes et des processus qui conditionnent l'évolution hydroclimatique permanente de notre planète.

# Protection de l'environnement: techniques analytiques nucléaires pour la surveillance et l'étude de la pollution atmosphérique

*Grâce aux projets assistés par l'AIEA dans une trentaine de pays, les chercheurs peuvent dépister et définir les sources de pollution*

par  
Robert M. Parr,  
Susan F. Stone  
et R. Zeisler

La pollution atmosphérique préoccupe le monde entier, en particulier les habitants de certaines grandes agglomérations urbaines. Ses divers et nombreux composants agressent l'environnement et la santé, directement ou indirectement. Les principaux polluants sont l'anhydride sulfureux, la matière particulaire, l'oxyde de carbone, les hydrocarbures réactifs, les oxydes d'azote, l'ozone et le plomb.

Les techniques nucléaires facilitent grandement l'étude de presque tous ces polluants, mais c'est surtout pour l'analyse des *aérosols* qu'elles sont le plus utiles. Nous allons parler de ces applications et des travaux de l'AIEA dans cet important domaine.

## Qu'est-ce qu'un aérosol?

C'est un mélange de particules solides et liquides en suspension dans l'air. La distribution granulométrique de ces dernières présente deux crêtes principales, l'une vers 0,2 micron, l'autre vers 10 microns (*voir la figure*). On peut aussi classer les particules selon leur origine. Celles qui sont inférieures à 2 microns sont essentiellement imputables aux processus de combustion (activité humaine) ou à la conversion gaz-particule, celles qui sont supérieures à 2 microns résultent pour la plupart de processus mécaniques (érosion des sols) ou d'une combustion incomplète.

Pourquoi vouloir étudier ces aérosols? D'abord parce qu'ils menacent la santé (*voir l'encadré, page suivante*). Dans certaines agglomérations urbaines

très peuplées, de pays *en développement* notamment, les concentrations totales sont souvent bien supérieures aux valeurs indicatives fixées par l'Organisation mondiale de la santé (OMS).

Celle-ci considère que la concentration moyenne annuelle ne devrait pas excéder 60 à 90 microgrammes/m<sup>3</sup>. Or, nombreuses sont les villes où ces valeurs sont régulièrement dépassées. Pas moins de 17 grandes villes, toutes situées dans des pays en développement, sont exposées à des concentrations plus ou moins élevées d'aérosols polluants provenant de la combustion du charbon, de sources industrielles ou encore, dans le cas de pratiquement tous les pays du monde, des gaz d'échappement des véhicules automobiles, et cela dans une mesure croissante. Dans les villes polluées, les effets directs sont immédiatement perceptibles: visibilité réduite dans l'atmosphère et irritation des yeux et de la gorge. Les effets à long terme sont encore bien plus graves et insidieux.

Comme les effets sur la santé sont surtout imputables aux particules de l'ordre de 10 microns et moins, ce sont celles-ci dont on s'occupe le plus. Malheureusement, il n'existe pas encore de normes de qualité de l'air internationalement agréées applicables à ces particules et la plupart des pays ne les surveillent même pas de façon régulière (ou commencent tout juste à s'en soucier depuis quelques années). Dans la pratique, ce sont les normes de qualité de l'air proposées aux Etats-Unis qui servent le plus souvent de référence: la concentration annuelle moyenne ne doit pas dépasser 50 microgrammes/m<sup>3</sup> et la moyenne sur 24 heures ne doit pas excéder 150 microgrammes/m<sup>3</sup> plus d'une fois par an (*voir le graphique page suivante pour une comparaison de ces moyennes avec les résultats pour São Paulo communiqués par un participant brésilien à un programme de recherche de l'AIEA*).

M. Parr est membre de la Division de la santé humaine de l'AIEA et Mme Stone en a fait également partie. M. Zeisler est un ancien membre du personnel des Laboratoires de l'AIEA de Seibersdorf.

### Eléments couramment détectés dans les aérosols à l'aide de techniques nucléaires et associées

**Analyse par activation neutronique:** aluminium (Al), arsenic (As), or (Au), baryum (Ba), brome (Br), calcium (Ca), cadmium (Cd), chlore (Cl), cobalt (Co), chrome (Cr), césium (Cs), europium (Eu), fer (Fe), gallium (Ga), iode (I), indium (In), potassium (K), lanthane (La), lutétium (Lu), magnésium (Mg), manganèse (Mn), sodium (Na), nickel (Ni), rubidium (Rb), antimoine (Sb), scandium (Sc), samarium (Sm), thorium (Th), titane (Ti), vanadium (V), tungstène (W), zinc (Zn).

**Emission X induite par des particules:** Al, Br, Ca, Cl, cuivre (Cu), Fe, Ga, K, Mg, Mn, molybdène (Mo), Na, niobium (Nb), Ni, phosphore (P), plomb (Pb), Rb, soufre (S), sélénium (Se), silicium (Si), Ti, Zn, zirconium (Zr)

**Analyse par fluorescence X:** Br, Ca, Cu, Fe, K, Mn, Ni, Pb, Rb, S, Se, Ti, Zn.

### Etudes de la pollution de l'air assistées par l'AIEA

Devant cette évidence et vu la nécessité apparente pour les Etats Membres d'évaluer et de limiter la pollution atmosphérique, l'AIEA a lancé en 1992 un programme de recherche coordonnée (PRC) sur la pollution de l'air, à l'aide de techniques analytiques nucléaires et apparentées; en outre, quatre projets de coopération technique ont été mis en œuvre. Un PRC régional pour l'Asie et le Pacifique, entrepris en 1995, comporte les mêmes objectifs et les mêmes procédures que le premier PRC. Il est exécuté dans le cadre d'un projet commun de l'AIEA, de l'Accord régional de coopération pour l'Asie et le Pacifique (RCA) et du Programme des Nations Unies pour le développement (PNUD) sur l'emploi des isotopes et des rayonnements pour perfectionner la technologie et faciliter un développement écologiquement durable.

Ces PRC ont un triple objectif: encourager l'emploi de techniques nucléaires et apparentées pour les travaux de recherche appliquée et de surveillance de la pollution atmosphérique; détecter les principales sources de pollution touchant les pays participants (notamment, la pollution par les métaux lourds toxiques); et obtenir des données comparatives sur les niveaux de pollution dans les secteurs fortement contaminés (agglomérations urbaines ou zones peuplées sous le vent d'une importante source de pollution) et dans ceux qui le sont peu (espace rural).

En principe, plusieurs types d'échantillonneurs servent à recueillir des aérosols (voir l'encadré,

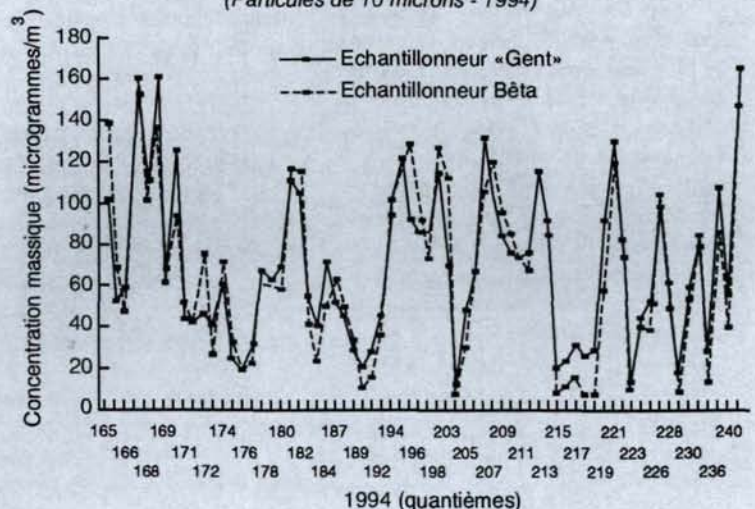
### Effets de la pollution de l'air sur la santé

Les conséquences mortelles de la pollution de l'air sont connues au moins depuis l'époque tragique du plus grand smog londonien de 1952 qui, en l'espace d'une semaine, a causé, selon les estimations, la mort prématurée de quelque 4 000 personnes. De tels brouillards n'existent plus, mais des études récentes montrent que les décès actuellement imputables à la pollution de l'air sont probablement plus nombreux qu'on ne le pensait.

Afin de comprendre pourquoi, et par quoi, la mort survient, il faut d'abord savoir comment la pollution de l'air pénètre dans l'organisme; c'est surtout un problème de granulométrie. En général, les particules d'une taille supérieure à 10 microns sont trop grosses et trop lourdes pour voyager très loin et celles qui atteignent l'être humain sont pour la plupart filtrées par le nez. Ce sont les particules plus fines d'environ 10 microns ou moins qui sont les plus dangereuses. Plus elles sont fines et plus elles pénètrent profondément dans les poumons. Ce qu'elles y font exactement n'est pas encore entièrement élucidé, mais certains scientifiques pensent que le système immunitaire réagit comme s'il s'agissait d'organismes intrus. Cette réaction provoque une inflammation des tissus qui ressemble à la réaction allergique causée par le rhume des foies et, si les particules sont ultrafines, l'inflammation peut gagner le fond du poumon. Les plus touchés sont les sujets souffrant déjà d'une grave affection respiratoire et bon nombre de ceux qui meurent pendant les périodes de forte concentration de particules de 10 microns seraient probablement morts quelques semaines ou quelques mois plus tard de toute manière. Ils constituent le *rebut*, comme on dit en épidémiologie. Toutefois, des comparaisons faites entre diverses villes des Etats-Unis montrent que l'espérance de vie générale diminue lorsqu'augmente la concentration de particules de cette taille, surtout à cause de la mortalité accrue due aux affections cardio-pulmonaires et au cancer du poumon. Il ne s'agit plus du *rebut* d'incurables, mais d'un danger réel pour la santé de tout le monde.

Il est impossible d'évaluer avec précision le nombre de personnes touchées et les scientifiques ne sont même pas d'accord entre eux sur la façon de le calculer. Quoiqu'il en soit, certains scientifiques officiels de bonne renommée estiment que la pollution atmosphérique tue environ 60 000 personnes par an aux Etats-Unis et environ 10 000 au Royaume-Uni. S'ils sont exacts, ces chiffres prouvent bien que cette contamination est non seulement un sérieux problème écologique, mais aussi un problème extrêmement grave de santé publique.

### Mesure des aérosols à São Paulo (Particules de 10 microns - 1994)





## Echantillonnage des aérosols

L'échantillonnage d'un aérosol implique le tri de particules de tailles différentes. Divers dispositifs sont utilisés pour faire les prélèvements. La méthode la plus simple consiste à collecter la totalité des particules en suspension, sans considération de taille, à l'aide d'un filtre muni d'une pompe et d'un régulateur du débit d'air à travers le filtre. L'aérosol est recueilli sur l'élément filtrant. Des échantillonneurs plus complexes permettent une sélection granulométrique.

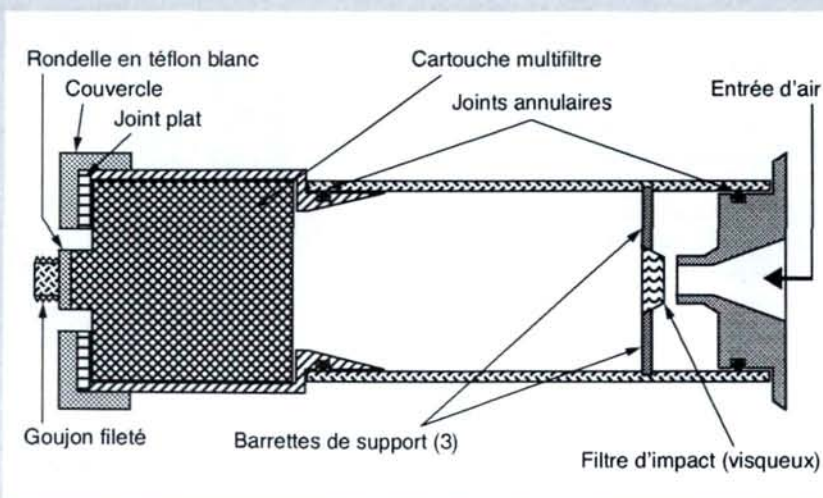
**Prélèvement sans sélection granulométrique. Echantillonnage par dépôt à sec:** dans l'appareil utilisé, les particules se déposent uniquement par gravité. Elles sont recueillies sur un collecteur en l'absence de précipitations, contrairement au dépôt par voie humide (entraînement des particules par les précipitations telles que la pluie et la neige) et au dépôt en vrac (combinaison des deux processus). **Prélèvement de la matière totale en suspension:** l'échantillonneur normalement utilisé comporte un filtre à faible résistance (verre ou cellulose) traversé par un grand volume d'air, les débits se situant entre 1,1 et 1,7 m<sup>3</sup>/min, soit environ 2 000 m<sup>3</sup> par jour. La buse d'admission et le filtre ont un diamètre de 25 à 30 cm. Ce genre d'appareil est particulièrement utile pour la surveillance, en des lieux éloignés, de concentrations de particules relativement faibles ou celle des produits de faible activité provenant de l'industrie nucléaire.

**Prélèvement avec sélection granulométrique. Echantillonneur à plusieurs étages:** le principe de cet appareil est de séparer les particules en fonction de leur granulométrie en leur opposant des «obstacles solides» auxquels elles se heurtent par inertie; le courant d'air contourne l'obstacle et, selon leur masse, les particules suivent le courant d'air ou sont projetées sur l'obstacle. Ce genre d'appareil comporte plusieurs collecteurs en série, chacun recueillant des particules de granulométrie différente, les plus lourdes étant arrêtées par les premiers collecteurs. **Echantillonneur à collecteur virtuel:** dans cet appareil, la séparation se fait au niveau d'une surface «virtuelle» formée par des courants d'air divergents, les particules grossières et fines étant dirigées vers des filtres distincts. La sélection granulométrique n'est pas aussi précise qu'avec les collecteurs physiques et la séparation semble difficile en-dessous d'un micron environ; en revanche, on évite la plupart des problèmes que posent les surfaces collectrices. L'échantillonneur dichotomique, par exemple, est muni d'une buse d'entrée sélective pour échantillonner les particules supérieures à 10-15 microns et d'un collecteur virtuel qui sépare les particules grossières des particules fines. Le débit d'air est moyen. **Echantillonneur centrifuge:** cet appareil du type cyclone peut aussi séparer les particules selon leur granulométrie dans une chambre cylindrique ou conique. Les particules lourdes sont projetées par un courant d'air constant sur la partie inférieure des parois du cyclone; elles y demeurent ou tombent au fond de l'appareil et ne sont généralement pas analysées. Les cyclones sont souvent utilisés pour séparer la fraction grossière de la fraction fine des aérosols. **Appareil à filtre multiple:** il assure un filtrage en série, la séparation des particules étant obtenue par des filtres en polycarbonate d'efficacité croissante, utilisés à cause de leur spécificité leur permettant de retenir des particules de granulométrie déterminée. Il comporte deux filtres en série situés en amont de la pompe. Le premier filtre (grossier) retient les particules comprises entre 3 et 15 microns et le second (fin) recueille les particules qui ont franchi le premier, c'est-à-dire inférieures à 3 microns. Le débit d'air est également moyen (environ 18 litres/min, soit 360 m<sup>3</sup>/jour).

**Echantillonneur individuel.** Ce petit appareil compact comporte une pompe et un élément filtrant pouvant recueillir soit la totalité des particules, soit les fractions d'une granulométrie déterminée, grâce à un dispositif approprié; il est généralement à faible débit (1-5 m<sup>3</sup>/h). Il est portable et sert à déterminer l'exposition individuelle à un aérosol.

**Echantillonneur «Gent» à cartouche filtrante.** Cet appareil spécialement conçu pour l'échantillonnage de la fraction respirable (10 microns) d'un aérosol suit le principe du filtrage en série (voir le schéma). Conçu à l'Université de Gand — «Gent» en flamand — il est actuellement fourni par l'Université Clarkson (Etats-Unis) et utilisé par tous les participants aux PRC de l'AIEA pour l'étude de la pollution atmosphérique et aux projets associés. La cartouche filtrante

comporte deux filtres Nuclepore de 47 mm (pores de 8 microns et de 0,4 micron, respectivement); elle est logée dans un cylindre muni d'un préfiltre d'impact qui retient les particules de plus de 10 microns et laisse passer celles de 10 microns dans les conditions normales de température et de pression, avec un débit de travail de 18 litres/min. A ce débit, le filtre grossier (8 microns) conserve une efficacité de 50 % pour les particules de 2 microns, de sorte qu'il retient en fait des particules entre 2 et 10 microns, tandis que le filtre fin arrête les particules de granulométrie inférieure.





**Pays participant au programme de surveillance et d'étude de la pollution atmosphérique assisté par l'AIEA**

**Participants au PRC mondial:** Argentine, Australie, Autriche, Bangladesh, Belgique, Brésil, Chili, Chine, Etats-Unis, Hongrie, Inde, Iran, Jamaïque, Kenya, Portugal, République tchèque, Slovaquie, Thaïlande et Turquie

**Participants au PRC régional:** Bangladesh, Chine, Corée (République de), Indonésie, Malaisie, Mongolie, Myanmar, Nouvelle-Zélande, Pakistan, Philippines, Singapour, Sri Lanka, Thaïlande et Viet Nam

**Projets de coopération technique:** Chili, Costa Rica, Philippines, Portugal et Sri Lanka

page 18). Toutefois, pour des raisons pratiques, tous les participants aux PRC emploient un seul type d'appareil, relativement simple et peu coûteux, afin d'assurer la comparabilité des résultats. Un petit modèle à cartouche multifiltre, réalisé à l'Université de Gand (Belgique), permet de recueillir des aérosols de deux granulométries. Des échantillonneurs de ce type ont déjà été fournis par l'Agence à une trentaine de pays (voir l'encadré ci-dessus).

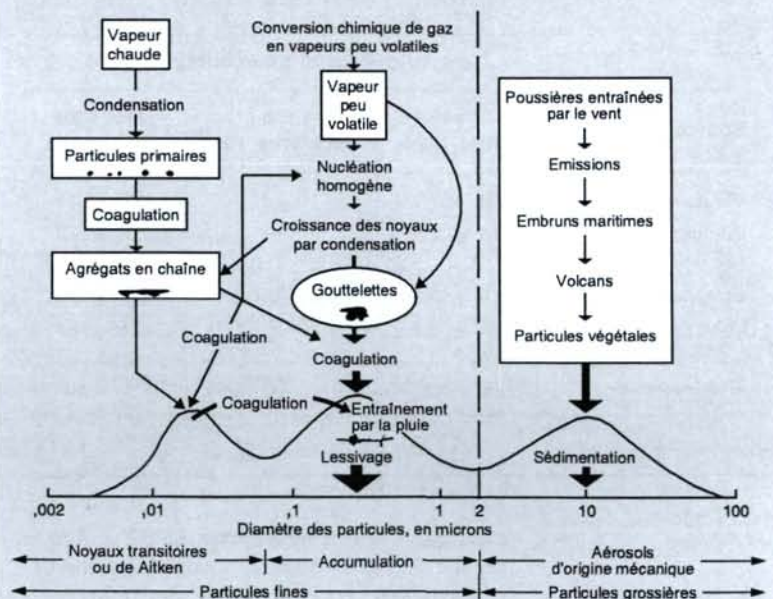
Les Laboratoires de l'AIEA de Seibersdorf, qui assistent les PRC, ont mis en service un de ces appareils pour échantillonner les aérosols à Vienne et en un point de la campagne autrichienne (voir l'encadré ci-contre). Ils s'occupent activement de mettre au point des matières de référence pour l'étude de la pollution atmosphérique, notamment des filtres à air, destinés à tous les participants aux PRC, en vue d'obtenir des données de bonne qualité et de faire des comparaisons valables entre les résultats. A cette même fin, le soin d'évaluer toutes les données est confié à un seul coordonnateur.

**Recours aux méthodes analytiques nucléaires et apparentées.** Diverses méthodes analytiques sont utilisées pour ces PRC. Les techniques nucléaires et apparentées, notamment l'analyse par activation neutronique (AAN), l'analyse par fluorescence X à dispersion d'énergie (FXDE) et l'émission X induite par des particules (EXIP) sont, de par leurs caractéristiques, extrêmement utiles (en fait *irremplaçables*) pour les analyses multi-éléments non destructives des échantillons d'aérosols (voir l'encadré, page 17). Toutes les autres méthodes rivales impliquent un long processus de dissolution des filtres et ne s'appliquent généralement qu'à quelques éléments, sinon à un seul, à l'exception de la spectrométrie de masse à couplage inductif qui est aussi une méthode liée au nucléaire. Certains de ces éléments, tel le plomb (Pb), sont d'un intérêt immédiat en raison de leurs effets sur la santé. Toutefois, la plupart

**Contribution des Laboratoires de l'AIEA de Seibersdorf**

Les Laboratoires de Seibersdorf participent aux programmes sur la pollution atmosphérique en évaluant les procédures, en particulier le prélèvement des échantillons, ainsi que la préparation, l'analyse et le traitement des données. Le prélèvement d'aérosols à l'aide de l'échantillonneur «Gent» se fait en un point d'un quartier résidentiel de Vienne ainsi que sur le site de Seibersdorf, zone rurale jugée représentative. Les problèmes éventuels du prélèvement et de la préparation des échantillons, ainsi que l'applicabilité des diverses méthodes d'analyse et l'utilité de l'échantillonneur à volume relativement restreint dans les pays en développement ont été étudiés. Vu la faible masse des échantillons d'aérosols prélevés avec les appareils utilisés pour les PRC, il faut appliquer des méthodes d'analyse extrêmement sensibles. La tactique à plusieurs méthodes adoptée à Seibersdorf a fourni non seulement des résultats pour de nombreux éléments, mais aussi, pour plusieurs d'entre eux, des résultats doubles de deux méthodes différentes confirmant la fiabilité des données. Malgré le nombre restreint des échantillons prélevés, un «instantané» limité a été obtenu pour la teneur en éléments traces des aérosols prélevés à Vienne et à Seibersdorf. La détermination de la teneur «à blanc» du «substrat» ou du filtre en éléments traces a été jugée indispensable dans le cas d'échantillons prélevés dans des secteurs éloignés (par exemple, en espace rural), car les concentrations de ces éléments sont souvent égales, sinon inférieures, à ce seuil. En dépit des difficultés inhérentes au prélèvement et à l'étude des échantillons, des analyses faites avec beaucoup de soin donnent de nombreuses indications sur la teneur en éléments traces des fractions inhalables des aérosols et sur les sources de ces derniers, tant naturelles qu'anthropiques.

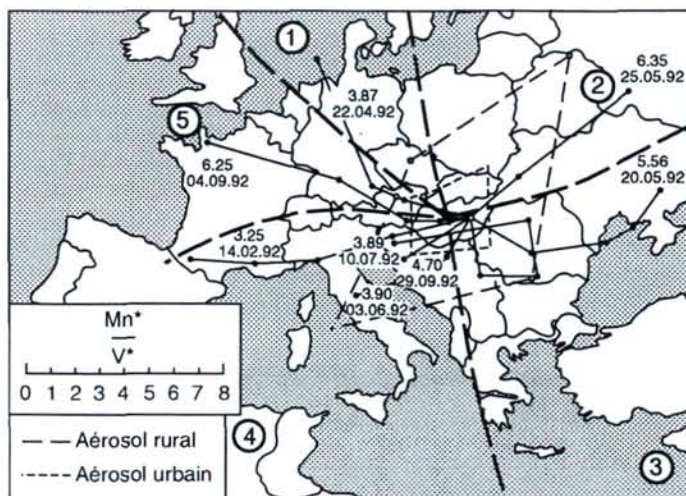
**Particules en suspension dans l'air**



Ce diagramme montre la répartition granulométrique, les modes de formation et leurs sources massiques, ainsi que les mécanismes d'extraction des particules en suspension dans l'air.



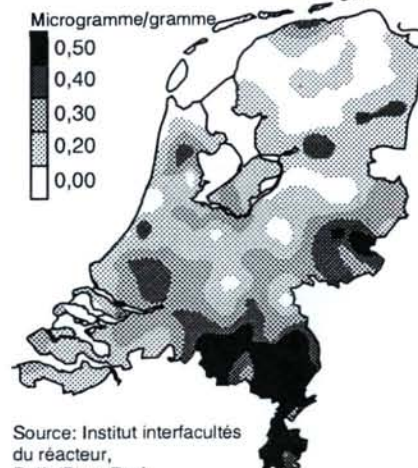
### Aires des vents porteurs d'aérosols urbains et ruraux, dans la région de Debrecen (Hongrie)



Cette figure assez compliquée montre essentiellement que les composants de la pollution atmosphérique à l'étude ont deux origines principales: Donets'k, Moscou, et région de l'Oural de la Communauté d'Etats indépendants; et nord de l'Italie et nord-ouest des Balkans. Certains phénomènes particuliers de pollution ont été précisés quant à leurs sources et à leurs dates.

### Contribution des fonderies de zinc à la pollution atmosphérique par le cadmium, aux Pays-Bas

(calculée d'après l'analyse d'échantillons de mousse)



Source: Institut interfacultés du réacteur, Delft (Pays-Bas).

### Distribution de la pollution atmosphérique (particules de 2,5 microns) d'une ville de la Nouvelle-Galles du Sud (Australie)

Sources	Apports en pourcentage		
	Hiver juillet 1994	Été décembre 1994	Moyenne pour 1994
Véhicules à moteur	68 ± 7	19 ± 5	54 ± 21
Fumées	18 ± 7	—	8 ± 12
Sol	—	2,7 ± 0,9	5 ± 4
Embruns maritimes	3,5 ± 0,9	5,4 ± 0,8	4 ± 2
Industrie	11 ± 2,6	73 ± 7	35 ± 21
Masse totale	30 ± 2 µg/m <sup>3</sup>	9,5 ± 0,6 µg/m <sup>3</sup>	14 ± 8 µg/m <sup>3</sup>

d'entre eux sont étudiés parce qu'ils peuvent être des indicateurs de diverses sources de pollution.

**Définition et composition des sources.** Les sources de pollution se caractérisent par différents mélanges d'éléments dans diverses proportions. Ci-après la composition de six sources de particules fines signalées par le participant australien au programme de recherche de l'AIEA:

- Véhicules à moteur: H, Na, Al, Si, S, Cl, Fe, Zn, Br, Pb, C élémentaire
- Combustion du charbon: H, Na, Al, Si, P, S, K, Ca, Fe, C élémentaire
- Fumées: H, Cl, K, Ca, C élémentaire
- Sol: Al, Si, K, Ca, Ti, Mn, Fe
- Embruns maritimes: Na, S, Cl, K, Ca
- Industrie: H, P, S, V, Cr, Cu, Pb, C élémentaire.

Si plusieurs éléments caractéristiques de chacune de ces sources sont dosés dans une série d'échantillons, les méthodes statistiques aident à évaluer en pourcentage l'apport de la source qui leur est imputable (voir le tableau). Cette information est extrêmement utile aux services écologiques, car elle leur permet de déterminer d'où provient la pollution en précisant la contribution des diverses sources.

Une autre méthode sert à définir les sources de pollution: les teneurs en éléments traces des échantillons sont combinées avec les données météorologiques, notamment la direction des vents et les mouvements récents des masses d'air (voir la figure concernant la Hongrie, page précédente).

**Surveillance biologique.** Les méthodes analytiques et statistiques utilisées pour les échantillons d'aérosols s'appliquent à d'autres indicateurs de la pollution atmosphérique. Au cours des dernières années, on s'est beaucoup intéressé à divers types de bio-indicateurs de la pollution atmosphérique, tels que les mousses, les lichens et l'écorce des arbres. Il faut simplement veiller à choisir un indicateur qui se nourrit à partir de l'air et non du sol ou autre matrice sur laquelle il pousse.

Ces bio-indicateurs présentent deux grands avantages: 1) les échantillons sont obtenus pour ainsi dire gratuitement, puisqu'il n'y a pas lieu de mettre



en place des échantillonneurs onéreux qui exigent une alimentation électrique et de fréquentes interventions de contrôle et de maintenance; 2) la matière à échantillonner est déjà sur place, couvrant de vastes superficies et même tout un pays.

De cette façon, une information étonnamment détaillée est acquise sur la répartition géographique des polluants atmosphériques, en ce qui concerne non seulement les concentrations de polluants déterminés, mais aussi, par identification statistique, les sources de la pollution (voir, page précédente, le cas des Pays-Bas). Plusieurs participants aux PRC de l'Agence expérimentent cette technique. L'AIEA est bien préparée pour assister à la suite des travaux dans ce domaine, car elle a récemment certifié une matière de référence pour analyses — un lichen — avec l'aide de 42 chercheurs de 26 pays.

### Orientation future des travaux

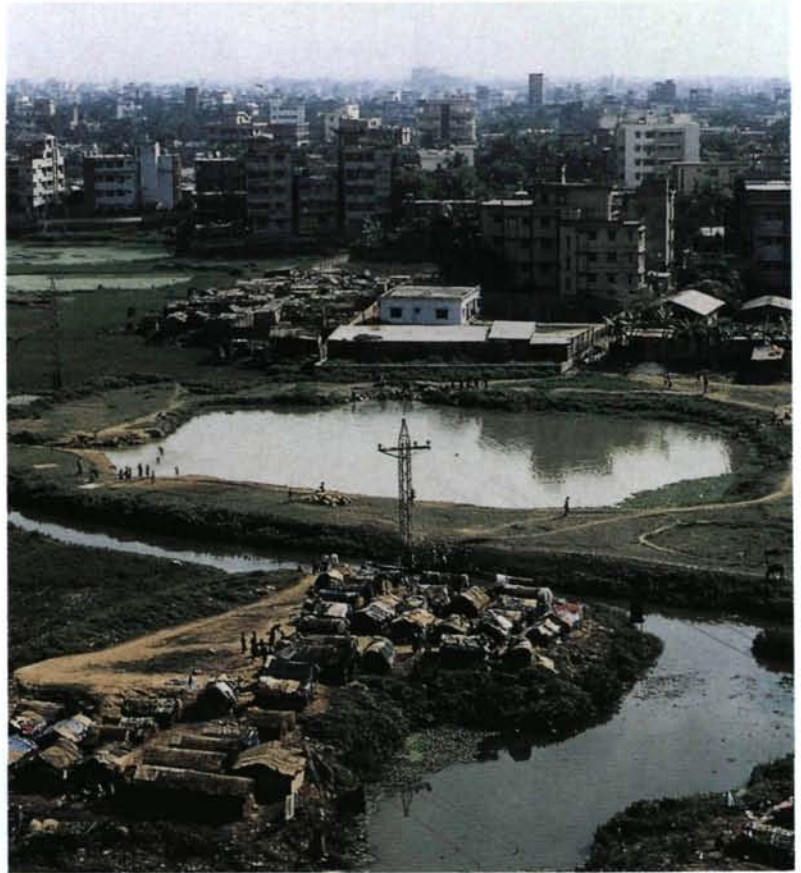
Le PRC mondial de l'Agence sur la pollution atmosphérique doit se terminer en 1997 et le programme régional pour l'Asie et le Pacifique en 1999. L'information obtenue constituera une base de données sans précédent sur les niveaux et les sources de types déterminés de pollution atmosphérique dans les grandes villes de pays en développement.

Les particules analysées sont considérées comme intéressant directement la santé humaine. La base de données de l'Agence servira donc à étudier les corrélations possibles entre la pollution atmosphérique et l'incidence des affections cardio-pulmonaires dans les villes et les régions en question. Cette information n'a encore jamais été communiquée en ce qui concerne la plupart des pays. Comme les chercheurs participants utilisent le même genre d'échantillonneurs et appliquent des procédures analogues de contrôle de la qualité des analyses, des résultats d'un haut niveau de confiance permettront de faire des comparaisons valables entre différentes villes et différents pays.

De nouvelles normes de qualité de l'air sont à l'étude aux Etats-Unis et devraient donner des indications sur les particules de 10 microns et de 2,5 microns. Le programme de l'AIEA offre déjà une information de ce genre.

Certains travaux de l'Agence sont secondés dans la région Asie et Pacifique au titre du projet AIEA/RCA/PNUD sur l'emploi des isotopes et des rayonnements pour perfectionner la technologie et faciliter un développement écologiquement durable. On étudie avec le PNUD la prorogation éventuelle de ces travaux pendant la période 1997-1999. Si elle est décidée, les études sur la pollution demeureront un élément principal de ce projet.

En Amérique latine également, on espère être en mesure, dans le cadre du programme régional ARCAL, d'encourager l'emploi de techniques nucléaires et apparentées pour surveiller et étudier



la pollution atmosphérique, de préférence à l'aide de bio-indicateurs.

Dans toutes ces activités, les techniques nucléaires et apparentées se sont avérées capables de donner de précieuses indications sur les niveaux et les sources de la pollution atmosphérique. Cette information est non seulement d'une utilité immédiate en elle-même, mais aussi pratiquement impossible à obtenir par toute autre méthode d'analyse non destructive instrumentale.

**Aspect d'une ville du Bangladesh, un des pays qui participent à la recherche sur la pollution atmosphérique assistée par l'AIEA.**



# Mines d'uranium: le problème de la régénération de l'environnement

*L'AIEA contribue à la solution des problèmes qui se posent en Europe centrale et orientale et dans les pays nouvellement indépendants*

par  
**Giorgio Gnugnoli,  
Michele Laraia  
et Peter Stegnar**

Dans le sillage des changements politiques intervenus en Europe centrale et orientale (ECO) et de l'avènement des Etats nouvellement indépendants (ENI) issus de l'ex-Union soviétique, on a beaucoup appris sur la situation écologique de ces régions. L'industrialisation à grande échelle et l'épuisement des ressources naturelles allaient de pair avec les quotas de production à atteindre, de sorte que la protection de l'environnement était bien souvent négligée.

Le nouveau climat politique se prêtait à des révélations, souvent fragmentaires, sur la contamination radioactive de certains sites. Par ailleurs, il a favorisé dans ces pays une ouverture vers la collaboration avec nombre de pays dont ils se trouvaient auparavant isolés.

Bien que la nécessité d'une régénération de l'environnement ne se fasse pas sentir seulement dans ces régions, celles-ci connaissent des circonstances particulières qui peuvent donner lieu à des difficultés supplémentaires. Contrairement à certains pays où les activités minières étaient localisées dans des régions éloignées (par exemple, aux Etats-Unis) ou produisaient relativement peu de déchets, les pays de l'ECO et les ENI se heurtent à un surcroît de difficultés logistiques pour deux raisons évidentes. Premièrement, les déchets radioactifs se sont accumulés en bien trop grandes quantités pour que l'on puisse les enlever à un prix raisonnable. Deuxièmement, d'autres sites d'évacuation n'existent pas ou sont impraticables.

Pendant les années 80 et les premières années 90, de nombreuses mines d'uranium déjà anciennes ont été fermées à cause d'une diminution de la demande d'uranium et d'une augmentation de l'offre globale. La chute des prix qui a suivi et le coût des mesures complémentaires qu'appelaient les nouvelles exigences de la société en matière de sûreté radio-

logique et de protection de l'environnement ont fait que nombre de mines exploitant des gisements à faible teneur ont cessé d'être rentables. Ce facteur économique est venu compliquer encore la mise en œuvre de la régénération des sites.

Certaines de ces installations rouvriront probablement lorsque la demande et les prix remonteront, mais nombre d'entre elles seront définitivement fermées et devront être déclassées. Comme cette situation s'est créée dans un temps relativement court, ces pays n'ont consacré que peu de ressources à la remise en état ou même simplement à la sûreté des zones contaminées.

Plusieurs facteurs contribuent à l'aggravation du risque de contamination radioactive:

- une exploitation de longue durée;
- plus le minerai est riche, plus la dose de rayonnement due aux déchets augmente;
- les conditions climatiques (par exemple, la pluie ou le vent) favorisent beaucoup la dispersion de la contamination;
- les pays dont les moyens sont limités ne peuvent consacrer que des ressources marginales à la régénération de l'environnement.

Il est regrettable que ces conditions soient communes à la plupart des pays en question. Nous présenterons brièvement dans cet article les problèmes courants de planification et de mise en œuvre des projets de régénération de l'environnement dans ces derniers.

## **Circonstances et difficultés fondamentales**

Bien que la situation en matière de politique, d'économie et d'infrastructure soit la même dans nombre de pays de l'ECO et de l'ex-Union soviétique, on peut noter de grandes différences entre eux. En général, on distingue trois catégories de circonstances fondamentales en ce qui concerne la restauration écologique:

- celle des pays dont l'industrie de l'uranium est peu développée, donc avec peu de déchets d'extrac-

M. Gnugnoli et M. Stegnar sont membres du Département de la sûreté nucléaire de l'AIEA; M. Laraia est membre du Département de l'énergie nucléaire.



tion et de broyage et peu de sites contaminés (par exemple, la Pologne);

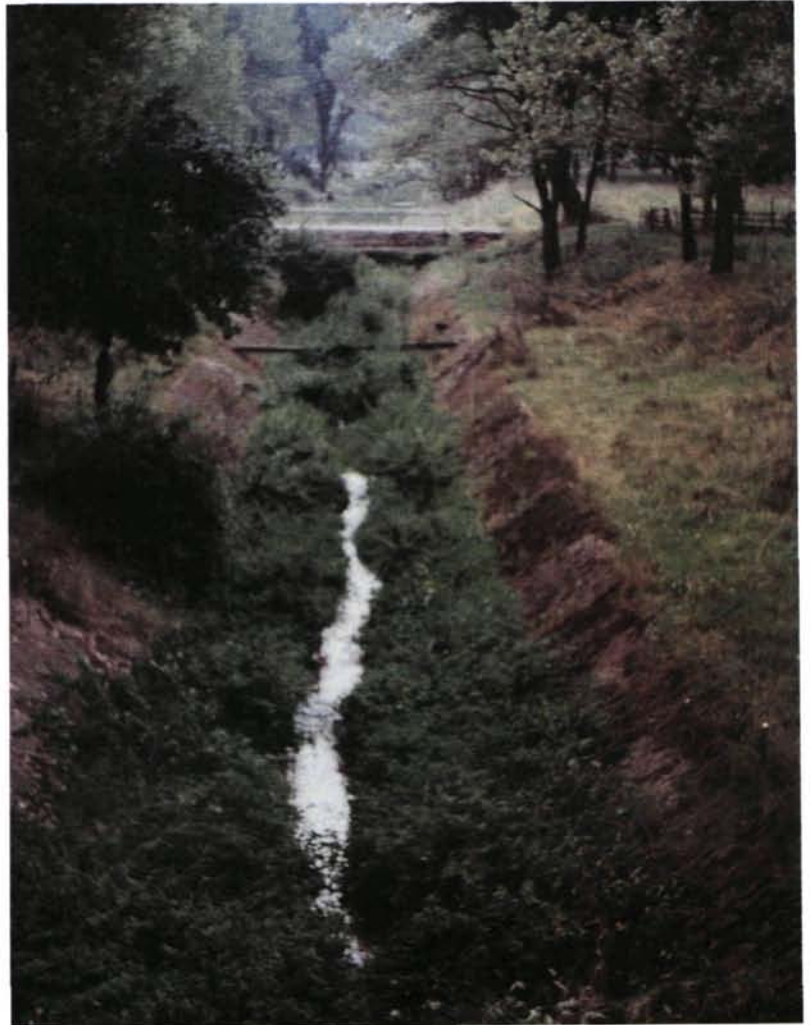
- celle des pays dont l'industrie de l'uranium est plus développée, avec plusieurs installations minières, et dont les ressources naturelles sont modérément atteintes (par exemple, la Roumanie);

- celle des pays dont l'industrie de l'uranium est pleinement développée, avec de nombreuses installations, et dont les ressources naturelles sont gravement atteintes (par exemple, la République tchèque).

Les problèmes résultant habituellement des activités passées de l'ensemble des pays sont les suivants: émanations de radon; contamination des eaux souterraines; sources de contamination à proximité des zones peuplées; manque de moyens pour régénérer l'environnement; recherche de dépôts de remplacement; absence de règlement ou de cadre réglementaire pour la régénération; emploi abusif des schlamms comme matériaux de construction; absence d'opérateurs responsables; et stocks importants et trop dispersés.

Dans certains cas, la situation des eaux souterraines est si grave que d'importantes sources d'eau potable sont menacées par une contamination radiologique et chimique. Dans les pays de l'ECO, il est fréquent, par ailleurs, que des installations de production d'uranium soient situées à proximité de zones peuplées, ce qui explique pourquoi les stériles et les schlamms sont utilisés à l'occasion comme matériaux de construction, d'où une exposition cons-

**Ci-dessus:** Sur le site d'extraction et de broyage du minéral d'uranium de Pécs, en Hongrie, entassement de stériles en vue de leur lessivage. (Photo: Mines Mecsekore, Hongrie). **A droite:** Fossé contaminé traversant le village de Yana, à proximité de la mine de Buhovo, en Bulgarie.





tante au radon dans les locaux, un des principaux risques radiologiques.

### Problèmes particuliers de la régénération de l'environnement dans la région

**Caractéristiques des sites.** L'emplacement et la nature des sites contaminés par la radioactivité dans les pays de l'ECO sont probablement la difficulté majeure à laquelle se heurtent les projets de régénération. Les données dont on dispose sont à la fois incomplètes et peu fiables, alors qu'une information précise sur la contamination radioactive des sites s'impose pour que l'effort soit rentable.

**Réglementation.** Dans nombre de pays concernés, l'ancienne réglementation doit être modifiée en fonction des structures politiques nouvelles ou profondément remaniées, et celle qui s'y substituera est encore à l'état de projet ou commence tout juste à prendre forme. La période de transition nécessaire pour opérer les changements et préciser les nouvelles responsabilités compliquera sans doute le processus décisionnel.

**Financement.** Divers organismes extérieurs (Banque mondiale et Banque européenne pour la reconstruction et le développement) ainsi que plusieurs pays et groupes de pays (Union européenne) offrent une assistance. Un manque de coordination risquerait de mener à des chevauchements entre projets aboutissant à un gaspillage des fonds disponibles, et il pourrait s'avérer difficile, dans les pays eux-mêmes, d'assurer une affectation et une répartition judicieuses des ressources financières.

**Infrastructures disponibles.** Pour résoudre le problème posé par les programmes d'assainissement, les pays doivent disposer d'une infrastructure et d'installations permettant de traiter, de stocker et d'évacuer sans risque les déchets radioactifs issus de la régénération. Dans nombre des pays dont nous nous occupons, les différentes phases du cycle du combustible nucléaire étaient coordonnées à l'échelon régional mais, dans la plupart d'entre eux, l'infrastructure nécessaire a partiellement disparu. Un accès difficile aux moyens de gestion des déchets radioactifs ne peut que nuire aux opérations de nettoyage.

**Les différences s'accroissent entre les pays de l'ECO et les ENI.** De grands projets bien coordonnés seront probablement plus rentables et efficaces pour ces régions que des programmes nationaux indépendants. Toutefois, il semble que les pays intéressés cherchent à emprunter des voies différentes, car leurs objectifs économiques et politiques actuels ne sont pas identiques. Cela n'est pas propice à l'usage rationnel des ressources destinées à la régénération de l'environnement. La proximité géographique, la similitude des structures politiques

ainsi que l'existence de déchets de même nature imposent la collaboration et le recours à une technologie et à des pratiques identiques.

**Attitude du public.** Les projets de régénération de l'environnement se heurtent à un autre problème: l'opinion des gouvernements, des milieux scientifiques et du public sur la question des déchets radioactifs. Dans ces régions, des substances contaminées par la radioactivité ont été couramment utilisées et manipulées selon des pratiques périmées pendant près de 50 ans, de sorte que la population n'a pas eu d'autre choix que d'accepter la présence de déchets radioactifs dans son environnement. Bien souvent, les habitants ne soupçonnaient même pas la présence de ces substances à proximité immédiate de leur lieu de résidence. La situation est en train de changer, semble-t-il, car les populations concernées commencent à comprendre les risques inhérents à ces déchets.

### Solutions pour les sites contaminés

A maints égards, les méthodes utilisées pour traiter la contamination et les rejets des installations minières en service sont analogues à celles du passé: la contamination hors site résultant de l'érosion est analysée et, si cela est faisable, enlevée et ramenée sur le site. L'application de certaines pratiques et stratégies en cours d'exploitation réduirait considérablement le travail de régénération au moment de la fermeture de l'installation.

**Extraction et broyage.** Diverses techniques, combinées à des mesures de ségrégation et d'enfouissement, assurent une élimination plus sûre et plus efficace des déchets. Elles comportent l'aspersion des tas de minerais et des décharges de schlamms avec de l'eau ou un stabilisateur chimique; des filtres à sac au niveau du broyage et du mélange; des séparateurs par voie humide combinés à des filtres à sac au niveau du séchage et du conditionnement de  $U_3O_8$ ; la consolidation au ciment des parois intérieures de la mine; la neutralisation des déchets liquides et la ventilation des mines souterraines.

**Isolement des déchets et entassement des stériles.** Les techniques de gestion des déchets appliquées dans les installations minières classiques sont l'enfouissement, le remblayage de la mine et l'évacuation dans des bassins de diverses profondeurs. Elles peuvent être considérablement renforcées par des mesures complémentaires de protection de l'environnement telles que:

- le remblayage des mines avec des agrégats sol/roche;
- le cloisonnage des mines;
- la neutralisation chimique;
- l'endiguement étanche des déchets liquides;
- l'évacuation en tranchées progressives;

- le pompage de l'eau du sol;
- la canalisation et le traitement des eaux de drainage et d'infiltration.

**Opérations minières spéciales.** Les ressources minérales sont d'une nature qui ne permet pas toujours de les extraire ni de les broyer commodément ou économiquement par les méthodes classiques. Des procédés industriels facilitent ces opérations, à moindre coût. Ces techniques dites spéciales impliquent un travail généralement de moindre envergure. Les principales sont le lessivage *in situ*, le lessivage en tas et la récupération des sous-produits. Si les pays dont nous parlons entretiennent et utilisent convenablement le matériel nécessaire, par ailleurs peu onéreux, ils pourront maintenir leur production de  $U_3O_8$  tout en s'épargnant les problèmes et les risques des grands dépôts de déchets en surface.

Dans certains de ces pays (Bulgarie et République tchèque, par exemple), l'extraction *in situ* et le broyage classique ont été utilisés. Le lessivage en tas a été pratiqué en Hongrie. Dans son principe, la récupération des sous-produits consiste à profiter d'une opération pour pratiquer une extraction complémentaire dans le courant principal, ou même dans celui des déchets. Par exemple, d'anciennes installations d'extraction et de broyage de minerai d'uranium, au Kirghizistan (Karabalta), seront transformées pour la récupération de l'or. Le lessivage en tas et la récupération des sous-produits sont des opérations assez distinctes et faciles à contrôler, tandis que le lessivage *in situ* exige que l'on surveille de plus près le déroulement des opérations pour éviter une contamination des formations aquifères exploitables.

### Méthodes actuelles de régénération

La méthode d'élimination de la contamination résultant de pratiques antérieures d'extraction et de broyage des minerais d'uranium et de thorium est très semblable à celle qui est appliquée pour la remise en état du site au moment de la fermeture d'une installation minière jusque-là en exploitation. Il est difficile de décider jusqu'où doit aller la régénération car l'impact de ce genre d'installation ne se manifeste généralement qu'après plusieurs années. Le risque est effectivement plutôt latent et progressif. Les opérations suivantes sont à envisager:

**Terrassement.** Il faut disposer de pelles-grues, de bulldozers et de planeuses. En outre, la contamination radioactive des sols et des roches exige une surveillance radiologique du personnel et du matériel, ainsi qu'une décontamination de ce matériel et des lieux de travail.

**Nettoyage des matières contaminées.** Des résidus d'opérations passées ont servi à des travaux de cons-

truction hors du site. De ce fait, des déchets radioactifs se trouvent en abondance dans des structures et dans des sols qui normalement n'auraient pas été contaminés. En pareil cas, contrairement à ce qui se passe avec les installations nucléaires, le degré de réhabilitation possible est limité. Il serait utile, en l'occurrence, d'assouplir la réglementation et de traiter *in situ* les stériles utilisés pour la construction d'une voie ferrée, car leur enlèvement et la reconstruction causeraient bien d'autres perturbations.

**Régénération des eaux souterraines et de surface.** Elle pose un problème technique encore plus sérieux. Dans le cas d'une couche aquifère profonde, les coûts sont tels qu'il faut compter dans une large mesure sur la régénération naturelle. Plusieurs pays de l'ECO et de l'ex-Union soviétique sont confrontés avec le problème des masses d'eaux contaminées. D'autres en sont encore au stade des études visant à déterminer l'étendue de cette contamination.

Compter exclusivement sur l'une ou l'autre des techniques les plus onéreuses peut dépasser les moyens dont dispose tel ou tel pays et il y aurait intérêt à considérer une stratégie combinant la régénération naturelle avec un traitement actif de l'eau (échange ionique, notamment). La disparition du terme source est bien souvent un avantage immédiat. Les tas de stériles et autres matières radioactives à découvert devraient être isolés et stabilisés dans les meilleurs délais. La pluie peut en effet agir sur ces déchets et créer des problèmes de contamination supplémentaires (solutions acides, par exemple).

L'avantage d'une action partielle est un élément important de toute stratégie; la régénération naturelle, ou toute approche plus simple encore, peut être grandement facilitée si l'état de la couche aquifère ou de la masse d'eau est préalablement amélioré (par exemple, en corrigeant le pH avec un adoucissant comme la chaux), laissant à la nature le soin de faire le reste.

**Surveillance.** Pour bien déterminer l'étendue du problème et mesurer les effets d'une stratégie de régénération, il faut un système de surveillance rationnel, efficace et fiable, car c'est ainsi que l'on pourra constater, en dernière analyse, si les mesures prises ont atteint leur but.

### Programmes de l'AIEA concernant les mines d'uranium

Le programme de gestion des déchets de l'AIEA comporte trois volets principaux:

- préparer une documentation pour aider les pays à mettre en œuvre leurs programmes nationaux;
- offrir un lieu de rencontre et un centre pour l'échange d'informations techniques;



● favoriser l'assistance et la coopération techniques en faveur des pays en développement aux fins de l'utilisation pacifique des matières nucléaires.

Voici deux exemples des initiatives récentes de l'AIEA dans le cadre de ce programme.

Un programme de normes de sûreté pour les déchets radioactifs (RADWASS) prévoit la publication de guides sur l'extraction et le traitement des minerais d'uranium, y compris un projet de norme de sûreté sur la décontamination des installations et la régénération de l'environnement.

L'AIEA a également assisté un projet régional de coopération technique sur la régénération de l'environnement dans les pays de l'ECO. L'effort porte essentiellement sur le type et le volume des déchets et sur la planification de la mise en œuvre des stratégies de nettoyage. Une série d'ateliers ont été organisés en 1993-1994 dans plusieurs de ces pays pour étudier les caractéristiques des dépôts de déchets, la planification de la régénération, son exécution et les techniques à utiliser. Parmi les types de sites traités figuraient les mines d'uranium et leurs annexes, mais le projet ne portait pas seulement sur la contamination qui leur est associée, mais aussi sur le cas de Tchernobyl, par exemple. Les pays ayant l'expérience de la remise en état de sites comportant des déchets radioactifs ont pris part aux travaux. Dans la mesure du possible, les services responsables de la surveillance et de la décontamination des sites ont été précisés. Sans un organisme responsable, le doute plane sur le démarrage, l'exécution et l'achèvement de toute opération de régénération.

Le projet de coopération technique, dont la tranche 1995-1996 est en cours, consiste à fixer des plans de travail pour la remise en état des sites de mines contaminés. Au-delà de 1996, l'activité passera au plan national afin d'étudier plus spécialement les particularités de chaque site de ce type d'installation. L'AIEA vient de publier les résultats des travaux de ces ateliers (TECDOC-865).

### Tout n'est pas résolu

A mesure qu'ils accèdent à l'économie mondiale, les pays de l'ECO et les ENI se heurtent aux dures réalités de la concurrence dans le secteur industriel privé, y compris celui de l'uranium. Bien que certains d'entre eux disposent toujours de quantités appréciables de minerai d'uranium, ils doivent encore faire face aux séquelles de pratiques périmées de gestion des déchets qui leur ont légué une masse imposante de schlamms et de stériles, ou autres déchets industriels.

La communauté internationale, consciente de cette situation, s'est efforcée d'aider ces pays de différentes manières. L'AIEA contribue à cet effort dans le cadre de son programme de coopération technique, tout en veillant au respect des critères et des normes internationalement agréés, pour s'assurer que la mise en valeur des ressources de l'industrie de l'uranium dans l'avenir ainsi que la décontamination de l'environnement souillé par l'héritage du passé se fassent en évitant les erreurs d'autrefois.



Mine d'uranium  
à ciel ouvert  
de Uchkouduk,  
en Ouzbékistan.

(Photo: C. Bergman, AIEA)

# Développement durable et production d'électricité: impacts comparés de l'évacuation de déchets

*L'AIEA et d'autres organisations cherchent à faire une étude comparative des déchets des chaînes énergétiques et de leur gestion*

par Roger Seitz

Les effets que l'évacuation de déchets peut avoir sur la santé et l'environnement ne cessent de préoccuper les responsables du développement durable de l'humanité. Ces déchets proviennent de diverses activités (mines et carrières, agriculture, industrie, production d'électricité, médecine, etc.). Lorsqu'ils sont bien gérés, ils ne représentent qu'un risque minimal pour la santé et l'environnement de l'être humain.

Le souci écologique est dû à ce que la quantité de déchets augmente sans cesse à cause de la croissance démographique, de l'industrialisation et de l'urbanisation. Il s'ensuit que l'un des problèmes que pose l'élaboration d'une stratégie du développement durable consiste à trouver les moyens de favoriser la croissance économique et l'amélioration de la qualité de la vie tout en limitant le volume des déchets et le risque qu'ils impliquent, ainsi que leur incidence sur la santé et l'environnement.

Or, ce développement propice à l'amélioration des conditions de vie d'une population mondiale en expansion suppose une consommation croissante d'énergie, notamment d'électricité. Tant que l'on n'aura pas trouvé un nouveau moyen de répondre à la demande croissante d'électricité, la seule possibilité de subvenir pratiquement à tous les besoins sera le recours aux combustibles classiques (charbon, gaz naturel, pétrole et uranium/thorium). Pour un développement durable, il faut donc tenir compte des déchets produits par toutes les chaînes énergétiques qui utilisent ces combustibles.

Nous donnerons ici une vue d'ensemble des premiers stades d'un projet de l'AIEA visant à comparer les déchets de différents systèmes de production d'électricité, ainsi que les méthodes d'élimination de ces déchets, et à examiner les diverses manières d'évaluer et de comparer les effets de l'évacuation de ces derniers sur la santé et l'environnement. Dans ce contexte, le rôle de l'énergie nucléaire est mis

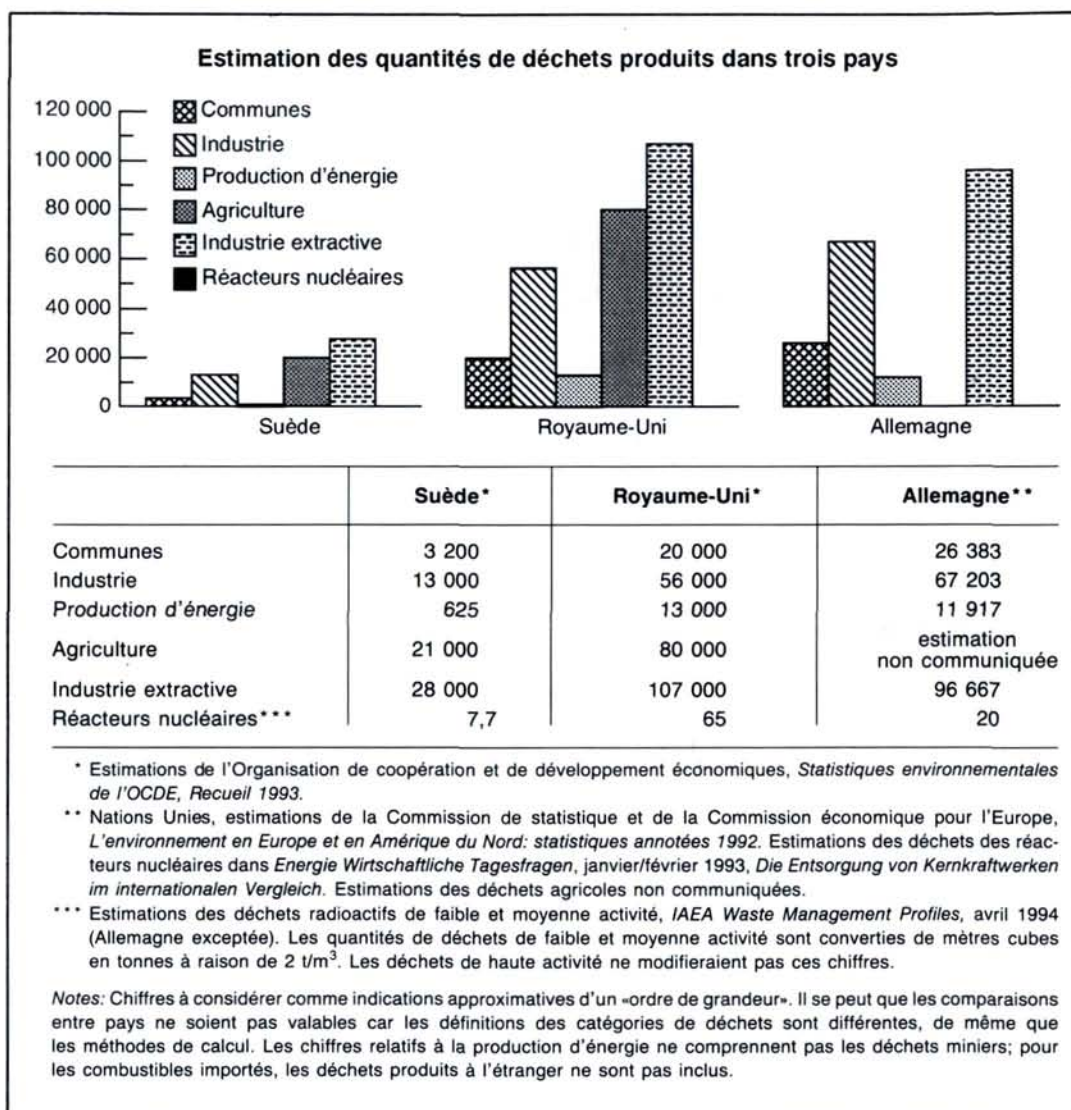
en vedette et cet article montrera notamment que la quantité de déchets imputable à l'option nucléaire est modeste comparée à celle de toutes les autres options énergétiques et activités associées. Les principaux déchets de tous les stades des chaînes énergétiques de production d'électricité, ainsi que leurs méthodes d'élimination, seront examinés (les effluents liquides et gazeux rejetés directement dans l'atmosphère ou les masses d'eau naturelles ne seront pas inclus). Nous verrons qu'il importe avant tout de considérer tous ces stades qui nous renseignent sur les quantités considérables de déchets ayant un impact potentiel à longue échéance, qui proviennent de systèmes de production d'électricité souvent jugés «propres». Nous parlerons aussi des radionucléides présents dans nombre de déchets d'origine non nucléaire.

## Gestion des déchets et développement durable

L'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) a calculé que ses Etats Membres ont produit environ neuf milliards de tonnes de déchets solides en 1990. Malgré les mesures restrictives appliquées ces dernières années dans l'industrie nucléaire et les autres secteurs, la production de déchets continue d'augmenter. Selon le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE), il semble que les mines et carrières et l'agriculture (fumier, résidus de récolte, etc.) sont les principales sources de déchets. Les données concernant les pays membres de l'OCDE et les chiffres communiqués par la Commission de statistique et la Commission économique pour l'Europe (ONU) corroborent la conclusion générale du PNUE. On constate également d'après ces données que, dans certains pays, une forte proportion des déchets solides est imputable à l'industrie, aux communes et à la production d'énergie (*voir le graphique*). Il est intéressant de noter que les déchets radioactifs des centrales nucléaires ne représentent qu'une petite fraction des déchets de toute la production d'énergie.

M. Seitz est membre de la Division de la sûreté radiologique et de la sûreté des déchets, à l'AIEA. Pour tout complément d'information, s'adresser à l'auteur.





Le volume sans cesse croissant des déchets et les aménagements à prévoir pour protéger la santé et l'environnement ont amené plusieurs organisations des Nations Unies à s'occuper de la gestion des déchets. La Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement (CNUED), réunie à Rio de Janeiro en juin 1992, a donné l'occasion d'examiner les stratégies du développement durable sous l'angle de la gestion des déchets et de plusieurs autres questions relatives à l'environnement. Le programme de l'Action 21 adopté par la CNUED montre toute l'importance du problème. Trois chapitres sont spécialement consacrés à la gestion des déchets et plusieurs autres y font allusion.

Par le biais de la CNUED et de l'Action 21, les Nations Unies et les gouvernements de tous les pays ont appelé l'attention du monde entier sur la nécessité d'une stratégie globale pour le développement durable de la société humaine. L'Action 21 souligne à plusieurs reprises que cette stratégie doit néces-

sairement prévoir la réduction du volume des déchets, tout en précisant que, quel que soit le succès des efforts pour y parvenir, le développement continuera de produire des déchets qu'il faudra toujours être en mesure d'évacuer pour protéger la santé et l'environnement. Les données dont on dispose confirment que l'option nucléaire n'en produit qu'un volume minimal et peut contribuer positivement à une stratégie mondiale de propreté et de développement durable.

#### Projets et programmes de l'AIEA

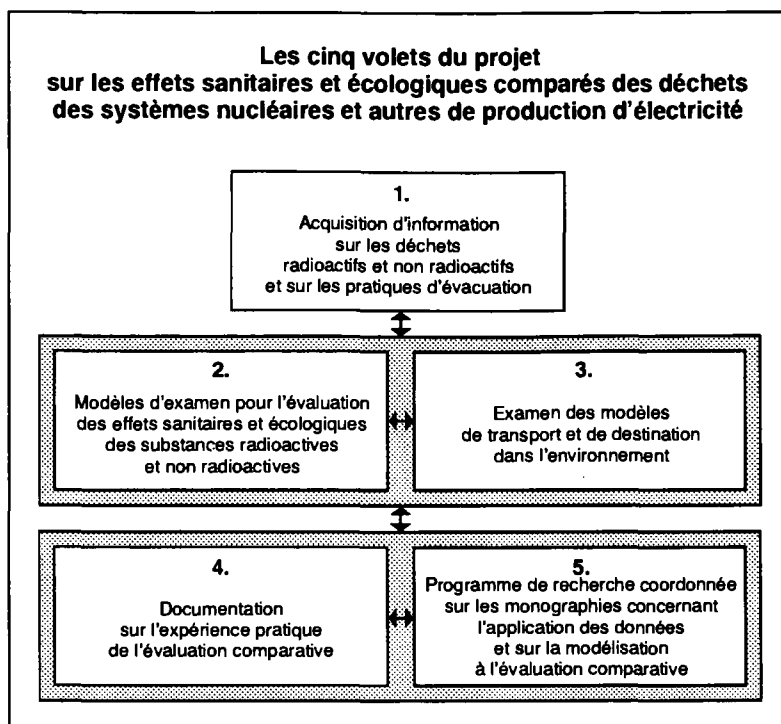
L'AIEA a entrepris un programme d'évaluation comparative concernant le rôle de l'électricité nucléaire dans une stratégie mondiale de production propre et de développement durable et consistant à examiner les effets sanitaires et écologiques, ainsi que les coûts des diverses options de production

d'électricité à tous les stades des chaînes énergétiques, en période d'exploitation normale et en cas d'accident. Le projet DECADES lancé par l'AIEA en collaboration avec plusieurs autres organisations internationales est au cœur de ce programme. Il vise à faciliter l'inclusion des problèmes de santé et d'environnement dans l'évaluation comparative des diverses chaînes et stratégies énergétiques destinée aux planificateurs et aux décideurs du secteur de l'énergie. Il prévoit en particulier la mise au point de moyens informatiques (bases de données, logiciels de modélisation, etc.) pouvant faciliter le processus décisionnel.

Nous examinerons dans cet article une partie du programme global de l'AIEA, qui se situe un peu à l'écart du projet DECADES. En 1995, l'AIEA a entrepris un projet visant essentiellement à comparer les méthodes d'évaluation des conséquences sanitaires et écologiques de l'évacuation des déchets radioactifs et non radioactifs des systèmes nucléaires et autres de production d'électricité. Ce projet vise à 1) collecter, évaluer et diffuser parmi les Etats Membres des données et des renseignements concernant les effets sanitaires et écologiques potentiels de l'évacuation de ces deux catégories de déchets; 2) évaluer et mettre à l'essai diverses méthodes permettant de juger et de comparer les effets possibles de cette évacuation sur la santé et l'environnement.

Plusieurs organisations — l'Organisation maritime internationale (OMI), l'Organisation mondiale de la santé (OMS), l'Organisation des Nations Unies pour le développement industriel (ONUDI), le PNUE et son secrétariat pour la Convention de Bâle, l'Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture (UNESCO) et le Comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants (UNSCEAR) — ont toutes contribué, officiellement ou non, à ce projet en prenant une part active aux réunions, en participant à la rédaction ou à l'examen de rapports ou simplement en communiquant une information utile.

Le projet prévoit cinq opérations à la fois itératives et parallèles (*voir l'encadré*): 1) préciser et comparer les quantités et les caractéristiques générales des déchets des systèmes de production d'électricité et d'autres sources, ainsi que les méthodes d'évacuation; 2) et 3) étudier respectivement les méthodes utilisées pour évaluer les effets sanitaires et écologiques des substances radioactives et non radioactives, et les modèles de transport et de destination dans l'environnement de divers types de déchets — ces deux opérations fourniront des données permettant d'évaluer et de comparer quantitativement les risques sanitaires et écologiques que comportent les déchets; 4) et 5) documenter l'expérience pratique acquise par l'essai des méthodes et des modèles ci-dessus concernant les évaluations des effets sanitaires et écologiques potentiels des déchets des systèmes nucléaires et autres de production d'électricité — la cinquième opération visera à obtenir cette expérience par des études de cas dans



le cadre d'un programme de recherche coordonnée auquel participeront des experts de plusieurs pays.

Les données sur les déchets et sur les méthodes d'évacuation pourront servir à compléter les bases de données constituées au titre du projet DECADES. Toutefois, vu la diversité des déchets, des méthodes d'évacuation et des conditions environnementales sur les sites, ainsi que les problèmes très particuliers de la modélisation des rejets et de leur migration à long terme à partir des installations d'évacuation, les méthodes d'évaluation sont examinées de préférence séparément des méthodes plus traditionnelles d'évaluation des risques concernant l'atmosphère et l'exploitation. Ces opérations visent surtout à examiner et à tester des formules de modélisation indépendantes pour l'évaluation et la comparaison des effets à court et à long terme de l'évacuation des déchets de diverses chaînes énergétiques, et à fournir une information en retour sur l'efficacité de différents modèles dans différentes situations qui puisse aider les Etats Membres à choisir les formules les mieux adaptées à leurs circonstances particulières.

Les résultats d'évaluations comparatives des effets sanitaires et écologiques de divers types de déchets solides peuvent être exploités à plusieurs fins: 1) dans le cadre d'une comparaison générale de l'impact de différents systèmes énergétiques; 2) pour faciliter la décision en matière de politique et de gestion des déchets, en permettant de comparer les effets de différents types de déchets et de diverses stratégies de gestion/évacuation; 3) pour évaluer l'impact potentiel de l'évacuation de déchets contenant des radionucléides, des éléments ou composés non radioactifs toxiques, ou les deux à la fois.



### Teneur de diverses matières en radionucléides

Matières	Teneurs en radionucléides (moyennes ou maximales)
Tartre et boues dans les circuits de traitement des effluents aqueux	jusqu'à 5 000 Bq/g ( $^{226}\text{Ra}$ ) (moyenne entre une et plusieurs centaines de Bq/g)
Boues dans les circuits d'alimentation en gaz naturel	jusqu'à 100 Bq/g ( $^{226}\text{Ra}$ )
Boues des bassins d'effluents aqueux	jusqu'à ~ 40 Bq/g
Charbon/lignite	0,001-100 Bq/g (uranium)
Tourbe	jusqu'à 50 Bq/g (uranium)
Déchets géothermiques	~ 5 Bq/g ( $^{226}\text{Ra}$ )
Morts-terrains des mines d'uranium	~ 1 Bq/g ( $^{226}\text{Ra}$ )
Déchets du traitement de l'eau potable	boues ~ 1 Bq/g ( $^{226}\text{Ra}$ ) résines ~ 1 000 Bq/g ( $^{226}\text{Ra}$ )
Engrais phosphatés	~ 5 Bq/g ( $^{238}\text{U}$ )
Déchets du traitement des phosphates naturels	laitier ~ 1 Bq/g ( $^{226}\text{Ra}$ ) tartre ~ 40 Bq/g ( $^{226}\text{Ra}$ )
Déchets du traitement des minerais	~ 1 Bq/g ( $^{226}\text{Ra}$ )

Notes: Ces chiffres indiquent des maximums, des moyennes de séries déterminées de données, ou des valeurs extrêmes. La plupart n'indiquent que la radioactivité due à un seul radionucléide, même si l'on sait que plusieurs autres radionucléides sont présents, de sorte que les niveaux de radioactivité sont très approximatifs.

### Déchets des chaînes énergétiques de production d'électricité

Diverses sources d'énergie servent à produire de l'électricité: les sources «classiques» (charbon, gaz naturel, pétrole et uranium/thorium) et les sources «renouvelables» (rayonnement solaire, énergie éolienne, eaux de surface, biomasse et géothermie). Bien que l'exploitation proprement dite de l'énergie solaire, éolienne ou hydraulique, par exemple, ne produise pas nécessairement de déchets, à part ceux de la maintenance et autres travaux de caractère général, des déchets comportant des risques à long terme proviennent de l'extraction et du traitement des matières premières servant à la fabrication des cellules photovoltaïques, des machines éoliennes et des barrages, et du déclassement de ces installations.

Pour distinguer les divers déchets radioactifs et non radioactifs d'un système déterminé de production d'électricité, il est commode de les classer selon les différentes étapes de la chaîne énergétique. Aux fins de cet article, nous considérons une chaîne énergétique type comprenant l'extraction et la préparation du combustible, l'exploitation de la centrale

et son déclassement. A noter que les déchets de la construction, de la maintenance, du transport et des procédés de traitement, selon les cas, doivent être étudiés à chaque étape de la chaîne.

Dans l'optique du public, il est fréquent que la plupart des déchets de la production d'électricité à l'aide de combustibles classiques soient perçus comme résultant de l'exploitation des centrales (cendres, combustible nucléaire épuisé). Or, rappelons que, selon les données présentées par la Commission de statistique et la Commission économique pour l'Europe, l'OCDE et le PNUE, l'une des deux sources de déchets les plus importantes du monde est l'industrie minière.

Cela est également vrai pour le secteur de la production d'électricité. Des volumes relativement importants de déchets sont produits, dans plusieurs systèmes de production d'électricité, au niveau de l'extraction du combustible (charbon, gaz naturel, pétrole et uranium/thorium). Les chiffres cités par les deux commissions mentionnées ci-dessus indiquent qu'en Allemagne plus de 80 % des déchets de l'industrie extractive proviennent des mines de charbon. De même, l'extraction de minéraux destinés aux matériaux de construction (métaux, ciments, etc.), aux procédés de traitement (chaux pour la désulfuration des effluents gazeux), aux engrais pour la biomasse, ainsi qu'à la fabrication de composants spéciaux, telles les cellules photovoltaïques, produit des déchets dont la quantité et la toxicité sont variables selon le procédé d'extraction, les quantités de combustibles ou de minerais nécessaires et la qualité du gisement.

Comme il faut beaucoup de combustible pour obtenir une quantité donnée d'électricité, les mines de charbon produisent généralement le plus de déchets. Mais il existe d'autres sources importantes de déchets: l'extraction de l'uranium/thorium pour la chaîne énergétique nucléaire; plusieurs autres chaînes énergétiques: la chaîne solaire exige plusieurs composés métalliques pour la fabrication de cellules photovoltaïques; les phosphates sont souvent utilisés comme engrais pour la production de biomasse; et de nombreuses matières premières doivent être extraites pour obtenir les matériaux nécessaires à la construction des barrages, des centrales électriques, des véhicules de transport, etc; les eaux souterraines pompées des mines en exploitation ou les eaux qui s'écoulent à travers une mine après sa fermeture, car elles peuvent contenir toute une série de contaminants — y compris des matières radioactives naturelles (thorium, uranium et radium) — des métaux traces (aluminium, mercure, chrome, cadmium, plomb, zinc, arsenic, etc.), ainsi que des sels et des sulfures; et les eaux pompées dans les mines de charbon peuvent contenir beaucoup d'hydrocarbures.

Le gaz naturel est souvent considéré comme une source d'énergie «propre» alors que la prospection et le forage des puits de gaz et de pétrole produisent

de grandes quantités de déchets, dont le tartre radioactif qui se dépose à l'intérieur des canalisations, les boues de forage et les rejets accidentels de pétrole ou les résidus du traitement des eaux contaminées. Le tartre, en particulier, peut contenir d'importantes quantités de radionucléides (*voir le tableau*) et il faut l'évacuer en tant que déchet radioactif. Les boues de forage peuvent être contaminées par des sels, des métaux traces (sélénium, arsenic, magnésium, curium, zinc, chrome, nickel, aluminium et fer), et des huiles et autres lubrifiants. L'extraction du gaz et du pétrole s'accompagne aussi du rejet d'importants volumes d'eau (jusqu'à 3 millions de litres par jour) contenant divers contaminants, dont des produits radioactifs naturels (notamment le radium), des métaux traces, de l'ammoniac, des sels, des hydrocarbures aliphatiques et aromatiques, des phénols et des naphthalènes. Les boues qui se déposent dans les bassins retenant ces eaux contiennent donc de fortes concentrations de métaux, de substances dangereuses et de radionucléides. Le forage produit aussi divers déchets dangereux dont l'amiante, les pesticides, les PCB et le trichloréthylène.

La deuxième étape d'une chaîne énergétique type est la préparation du combustible, importante source de déchets, elle aussi. Pour les combustibles fossiles, elle comprend le tri du charbon brut pour en éliminer les impuretés, le raffinage des produits pétroliers, le traitement des minerais et la fabrication du combustible pour la chaîne nucléaire. Les déchets des activités postminières comprennent les résidus, les eaux et les solides contenant les mêmes contaminants que les rebuts de la mine (métaux traces, sels, métaux et matières radioactives naturelles). Les raffineries rejettent généralement des résidus d'huile et des effluents aqueux, et diverses boues contaminées par des radioéléments naturels, des hydrocarbures, des métaux traces, des PCB et autres substances. La fabrication des combustibles nucléaires produit des déchets contenant des cendres et des boues contaminées par des radioéléments naturels et des métaux traces. La fabrication de cellules photovoltaïques équivaut, *mutatis mutandis*, à la préparation des combustibles et produit de multiples déchets toxiques dangereux contaminés par des composés de l'arsenic, du cuivre, du cadmium, du gallium et du zinc.

La troisième étape de la chaîne énergétique voit apparaître les déchets produits par l'exploitation des centrales électriques. Etant les plus évidents, ils retiennent le plus l'attention. Les centrales au charbon produisent de grandes quantités de déchets de combustion dont les cendres volantes et les cendres lourdes, ainsi que du gypse et des boues de désulfuration contenant toutes de la radioactivité naturelle et des métaux traces. Il est assez paradoxal que la désulfuration visant à réduire les gaz à effet de serre émis par une centrale produise plus de déchets que la combustion ne produit de cendres. Le recyclage des cendres volantes et des résidus de

désulfuration est fortement encouragé et de grandes quantités sont réutilisées (additifs au ciment, remblayage, gypse dans les matériaux de construction, etc.). Même ainsi, d'énormes quantités de cendres et de résidus de désulfuration restent inutilisées; elles sont évaluées à plus de 450 millions de tonnes par an dans le monde. Les centrales au mazout produisent moins de cendres mais éventuellement beaucoup de résidus de désulfuration. En outre, le nettoyage des chaudières et le traitement des effluents aqueux produisent des résidus qui contiennent aussi des matières dangereuses.

Il est probable que ce sont les déchets des centrales nucléaires, notamment le combustible épuisé, dont on s'occupe le plus dans le monde. Pourtant, ces centrales produisent beaucoup moins de déchets que l'ensemble des systèmes de production d'électricité. Le problème, c'est la forte radioactivité de très petites quantités. Le retraitement du combustible épuisé se fait dans plusieurs pays, ce qui réduit le risque à long terme inhérent aux déchets à évacuer. Les centrales nucléaires produisent d'ailleurs des déchets de faible et moyenne activité, tels divers rebuts, tuyauteries et matériel usagé contaminés par des radionucléides de période relativement courte.

Le déclassement des centrales mises à l'arrêt est le dernier maillon de la chaîne énergétique type. Dans les centrales au charbon, au mazout et au gaz, on retire de cette opération des gravats, du matériel usagé et des sols contaminés par les sous-produits de la combustion et autres substances résultant de l'exploitation de la centrale. Quand il s'agit d'une centrale nucléaire, les déchets sont d'une autre nature, car les matières qui se trouvent à proximité du cœur du réacteur ou du circuit primaire exigent éventuellement un traitement spécial, étant fortement contaminées par des radionucléides généralement de courte période. Le déclassement des installations photovoltaïques, des barrages et des éoliennes produit aussi des déchets qu'il faut gérer. Les cellules photovoltaïques, en particulier, contiennent des composés dangereux comportant des risques à long terme pour la santé.

A tous les stades d'une chaîne énergétique, divers déchets résultent d'opérations de construction, de maintenance, de transport et de traitement de déchets. En ce qui concerne la construction, la maintenance et le transport en général, les déchets sont essentiellement de même nature dans toutes les chaînes énergétiques, quoique les quantités, les types et les niveaux de contamination puissent être différents selon la chaîne considérée. Dans le cas des centrales au charbon, par exemple, d'énormes quantités de combustible, de cendres et autres déchets sont à transporter quotidiennement. On a calculé qu'il faut une cinquantaine de camions de 40 tonnes pour emmener chaque jour à la décharge les cendres volantes et les résidus de désulfuration d'une installation type de 1 000 MWe (le rail ou d'autres moyens de transport peuvent également servir, le cas



échéant). Une analyse du cycle complet devrait d'ailleurs porter sur les déchets de la production du combustible nécessaire aux camions ou aux locomotives et sur ceux qu'implique l'entretien de ce matériel. De même, la comparaison doit tenir compte des déchets secondaires résultant du traitement des déchets eux-mêmes.

### Matières radioactives naturelles

La plupart des déchets divers dont on vient de parler, notamment ceux de l'extraction et de la préparation du combustible, ainsi que les sous-produits de la combustion, contiennent des radioisotopes naturels (carbone 14, potassium 40, uranium 238, radium 226 et thorium 232) (voir le tableau). Le problème, c'est que ces matières naturelles contiennent des radionucléides de longue période (uranium 238 — période de 4,5 milliards d'années, thorium 232 — période de 14 milliards d'années, et leurs produits de filiation, y compris le radium). Parmi ces isotopes naturels, ce sont le radium et ses descendants qui comportent le plus grand risque radiologique pour la santé.

Comme on se préoccupe surtout des déchets radioactifs des centrales nucléaires, les radionucléides contenus dans les déchets d'autres sources énergétiques ont toujours été relativement sous-estimés. Toutefois, vu les longues périodes des radionucléides naturels que contiennent certains déchets, et les dangers qu'ils comportent, les services de réglementation se sont sentis obligés, depuis peu, de tenir compte des radionucléides présents dans les déchets des chaînes énergétiques non nucléaires, dans le cadre d'une réglementation devenue beaucoup plus stricte.

Pour mieux situer la question, prenons deux exemples de déchets de l'industrie du gaz et du pétrole qui contiennent des radionucléides naturels: 1) Le tartre qui se dépose à l'intérieur des puits et des circuits de production est désormais souvent considéré comme un déchet radioactif et il est intéressant de noter que l'on a montré, dans certains cas, qu'il contient des concentrations de radium 226 qui frisent les niveaux supérieurs internationaux de concentration alpha dans les déchets de faible et moyenne activité enfouis à faible profondeur. 2) L'étude des eaux rejetées en grande quantité par les puits lors des forages dans les gisements de gaz naturel et de pétrole a souligné que 50 à 78 % des puits examinés dans trois Etats des Etats-Unis expulsent de l'eau dont la teneur moyenne en radium est supérieure à 1,85 Bq/l (50 pCi/l). D'autres résultats semblent indiquer des concentrations moyennes de radium dans l'eau de certains puits qui peuvent atteindre 111 Bq/l (3 000 pCi/l). A titre de comparaison, rappelons que la limite de concentration du radium dans les effluents aqueux des centrales nucléaires américaines est fixée à environ 2,2 Bq/l

(60 pCi/l). Bien que des spécifications spéciales puissent être nécessaires dans certains cas, il est clair que les normes de l'industrie nucléaire serviront de référence.

### Méthodes d'évacuation des déchets de la production d'électricité

L'Action 21 recommande une production propre mais, jusqu'à ce que l'on dispose de nouvelles techniques, il faut s'attendre que les chaînes énergétiques produisent d'importantes quantités de déchets, de sorte que des méthodes appropriées seront requises. De fait, l'impact final d'une chaîne énergétique sur la santé et l'environnement dépendra dans une certaine mesure de la méthode d'évacuation utilisée. Plusieurs méthodes sont couramment appliquées dans le secteur de la production d'électricité. En voici un bref aperçu.

Aux stades de l'extraction et de la préparation du combustible, les grandes quantités de déchets n'exigent pas d'installations compliquées pour leur évacuation. Dans certains cas, les stériles servent à remblayer les excavations de la mine ou sont étalés en surface. Mais il n'est pas rare, désormais, de les recouvrir s'ils sont dangereux, afin d'éviter l'infiltration. Les déchets du forage des puits de gaz ou de pétrole sont normalement réinjectés dans la formation, enfouis dans des fosses ou étalés en surface sur le site même.

Les déchets de la préparation du combustible pour les chaînes énergétiques au charbon et nucléaires contiennent de grands volumes de liquides évacués dans des bassins artificiels étanches. Les déchets solides (schlamm et résidus d'évaporation) sont recouverts d'une couche de terre aménagée pour réduire au minimum l'infiltration et limiter le dégagement de gaz. Les déchets de raffinage du pétrole sont épandus sur le sol ou évacués dans des fosses. Les déchets dangereux des raffineries ou de la fabrication des cellules photovoltaïques sont emmenés dans un dépôt autorisé. Ce genre d'installation comporte des tranchées étanchéifiées munies d'un réseau collecteur de lixiviat et d'une couverture de terre aménagée pour limiter la pénétration de l'eau. Les autres déchets de la préparation des combustibles sont mis en décharge ou, dans le cas de certains déchets nucléaires, placés dans des tranchées aménagées ou dans des casemates en béton.

Les déchets d'exploitation des centrales au charbon et au mazout (cendres volantes et résidus de désulfuration) sont évacués dans des bassins, des décharges et des cavités de mines, ou encore entassés en surface. Après évaporation et vidange de l'eau, les dépôts de boues au fond des bassins d'évacuation sont recouverts de terre. En revanche, les déchets liquides du nettoyage des chaudières à charbon, à gaz et à mazout doivent parfois être traités comme déchets dangereux, ce qui implique leur évacuation

# RADIOGRAPHIE DE LA COOPERATION TECHNIQUE

Agence internationale de l'énergie atomique



Octobre 1996 vol. 2, n° 2

## SOMMAIRE

Maîtriser le feu . . . . .	1
Un trésor sous le Sahara . . . . .	1
Au Venezuela de l'eau . . . . .	2
Isotopes et hydrologie . . . . .	5
En bref . . . . .	7
Des plaines assoiffées . . . . .	8

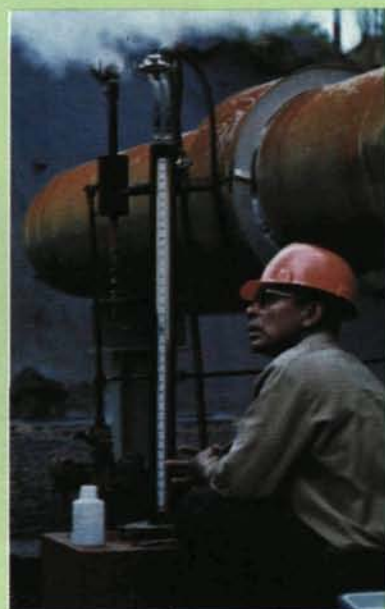
## Un trésor sous le Sahara

L'Afrique du Nord est une vaste région aride où toute l'activité économique et la qualité de vie de millions d'habitants souffrent de la pénurie d'eau. Dans la plupart des pays, l'eau est encore puisée à faible profondeur, manuellement ou à l'aide de diverses variantes de la vis d'Archimède. Du fait de l'augmentation de la population et de la demande, l'approvisionnement est désormais insuffisant. Or, il y a de l'eau à grande profondeur dans un ensemble de formations aquifères rocheuses. On peut l'amener à la surface par pompage dans des puits de plusieurs centaines de mètres. Toutefois, l'expérience acquise dans le monde montre que les résultats sont souvent aléatoires et même contraires au but visé: des puits

## Maîtriser le feu intérieur

Des deux côtés de la ceinture de feu du Pacifique, le Salvador et les Philippines exploitent leurs ressources géothermiques pour produire de l'électricité. Dans la plupart des pays situés sur cet arc volcanique immense, la géothermie se manifeste par ces marmites où bouillonnent des liquides à plusieurs centaines de degrés; la vapeur sèche et les eaux bouillantes qui en sortent sont capables, sous haute pression, d'actionner des turbines.

L'énergie géothermique présente maints avantages, en particulier dans les pays qui doivent dépenser leurs maigres réserves de devises pour importer les combustibles fossiles nécessaires à leurs centrales thermiques. Outre ces économies, la géothermie assure l'indépendance énergétique. Les systèmes modulaires préfabriqués facilitent la construction et le démarrage de nouvelles centrales. Autre avantage, ces installations peuvent fonctionner toute l'année sans craindre le manque d'eau,



*Technicien de la Commission hydroélectrique de El Salvador vérifiant un puits géothermique. (Photo: J. Gerardo/AIEA)*

comme l'hydroélectrique, ni les livraisons tardives de combustible, et

*suite page 3*

très coûteux tarissent; l'eau pompée contient des sels nocifs; et une extraction intensive provoque des affaissements du sol. Pour bien gérer cet ensemble aquifère, il faut procéder à toute une série d'analyses complexes.

Au titre de la coopération technique, l'AIEA a lancé en 1995 un projet modèle de quatre ans pour recueillir des données de base et transférer

*suite page 4*



# Au Venezuela, de l'eau pour la capitale

A Caracas, l'eau manque pour de multiples raisons: d'un côté, la pénurie et, de l'autre, un gâchis délibéré sans précédent. Dans tous les arrondissements de la capitale, l'eau est coupée chaque jour soit pendant des heures, soit toute la journée, sans compter que le réseau de distribution n'atteint pas les banlieues surpeuplées. Le ministère des eaux lui-même n'y échappe pas. Chaque jour, les médias précisent les arrondissements, et même les hôpitaux

Depuis lors, l'agglomération s'est étendue sur les pentes de sa vallée — et compte aujourd'hui cinq millions d'habitants — de sorte que le service des eaux parvenait à peine à satisfaire la demande croissante, même avant que les réservoirs ne commencent à se vider à cause de la rareté des précipitations dans le nord du Venezuela depuis plusieurs années.

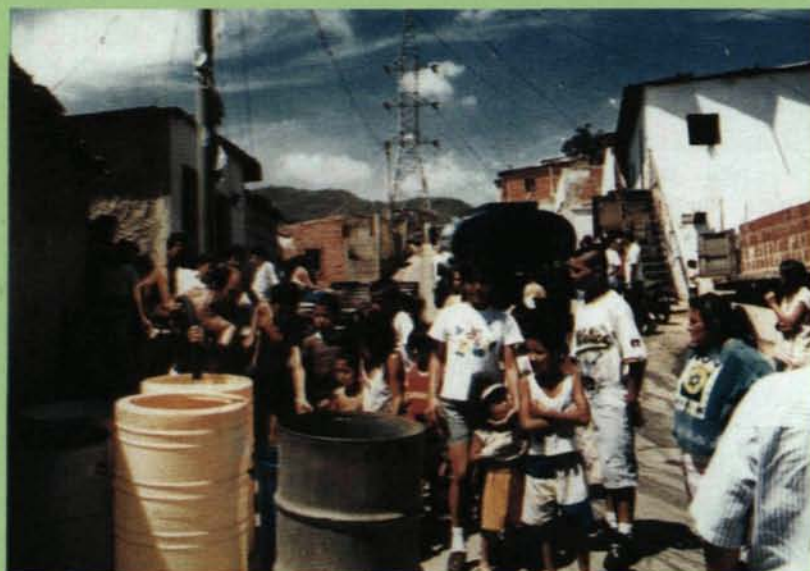
Ironie du sort, les fuites se multiplient le long des canalisations souterraines

Depuis l'été 1994, un projet de coopération technique de l'AIEA contribue à résoudre cet aspect du problème en recourant aux techniques isotopiques pour déterminer précisément le volume, l'écoulement et la qualité des eaux des couches profondes du système aquifère situé sous la ville. Le premier souci est de trouver de nouvelles sources d'eau pour compenser au moins en partie le déficit actuel de 260 000 m<sup>3</sup> par jour. L'extraction des eaux profondes à l'étude pourrait avoir pour effet secondaire d'abaisser suffisamment la surface piézométrique pour épargner un pompage coûteux en pure perte.

Si l'on veut exploiter le système aquifère, ne serait-ce que pendant les périodes de sécheresse ou pour un approvisionnement local limité, il faut d'abord préciser un certain nombre de paramètres. Quel volume d'eau contient-il? Quels sont les débits d'alimentation et d'écoulement? D'où vient l'eau? Quel est son degré de pureté en différents points? Quels sont les processus et les voies de pollution? Autant de questions que les techniques géologiques classiques ne sauraient trancher, alors que les indicateurs isotopiques associés aux méthodes géochimiques permettraient d'y répondre rapidement avec une précision remarquable.

A la fin de 1995, le service des eaux a terminé un «relevé» du système aquifère qui le décrit comme une structure verticale composée de deux sous-systèmes horizontaux distincts et précisé la nature des sources d'alimentation. Il semble que l'eau prélevée à certaines profondeurs permettrait de réduire sensiblement le déficit en eau potable. D'autres secteurs du système fourniraient une eau de qualité suffisante, notamment pour l'irrigation et les usages industriels.

Le projet assure le transfert de la technologie et des connaissances techniques nécessaires au contrôle



Les arrondissements de Caracas privés d'eau sont ravitaillés par camions-citernes. (Photo: H.F. Meyer/AIEA)

et les écoles qui n'auront pas d'eau de toute la journée. Une récente chronique annonçait l'envoi de 40 camions-citernes d'eau (environ un million de litres) à l'arrondissement de Sucre privé d'eau depuis 20 jours!

La ville de Caracas, située dans une vallée très ouverte à quelque 1 000 mètres d'altitude, était approvisionnée en eau, jusqu'au début des années 60, à partir d'une nappe souterraine peu profonde. Dans les années 50 et 60, des réservoirs ont été construits sur des collines avoisnantes pour recueillir les eaux de pluie qui, après traitement, servaient d'appoint pour une population de moins de un million d'habitants.

en béton qui amènent l'eau de ces réservoirs à la cité. De surcroît, le drainage naturel de l'eau du sol s'est trouvé bloqué lorsque l'on a «canalisé» un cours d'eau des environs, le Guaire, il y a quelques années. Désormais sans autre issue, cette eau du sol augmentée des fuites est maintenant si proche de la surface que les installations du métro et les fondations de diverses autres constructions sont menacées. Elle ne peut d'ailleurs plus servir à désaltérer la population car, à son niveau actuel, elle est contaminée par les égouts et autres sources de pollution. Elle est aspirée inlassablement — mais seulement pour être rejetée au loin — par les pompes que l'on entend un peu partout dans la cité assoiffée.

suite page 7



les réserves convenablement gérées peuvent durer indéfiniment.

Tandis que l'évolution du climat et les gaz à effet de serre nous préoccupent, cette énergie peut être exploitée sans nuire à l'environnement. Les responsables doivent veiller à la protection des bassins hydrographiques où sont situées les centrales, car ils assurent l'alimentation des réserves. L'eau extraite peut être réinjectée dans le réservoir au lieu d'être évacuée en surface. Les Philippines ont opté pour le géothermique, malgré de gros investissements, car il permettrait de réduire les émissions de CO<sub>2</sub> à 5-10 % de ce qu'elles seraient avec des centrales au charbon, par exemple. Ce choix a été approuvé par le Fonds pour l'environnement mondial qui a récemment versé 30 millions de dollars (le maximum prévu par son règlement) pour une nouvelle centrale géothermique aux Philippines.

La technologie géothermique est appliquée depuis près de 100 ans. La première centrale a vu le jour à Larderello (Italie) et produit de l'électricité depuis 1904. Cette forme d'énergie est cependant sous-exploitée dans le monde. Quelque 18 pays y ont recours, mais elle n'assure qu'une petite partie de la production nationale d'électricité. Les Etats-Unis sont le premier producteur mondial d'électricité, avec plus de 2 200 mégawatts électriques (MWe). Viennent ensuite le Mexique avec plus de 700 MWe, l'Italie avec plus de 500 et le Japon avec plus de 200. Ce qui freine en fait le développement géothermique, c'est qu'il est pratiquement impossible de préciser les paramètres garantissant une gestion durable et écologique. Quelles sont les réserves de vapeur et d'eau chaude? Quel est le débit d'alimentation du réservoir? Les quelque deux millions de dollars que coûte un forage représentent proportionnellement une grosse dépense; alors, où faut-il forer pour être sûr?

L'hydrologie isotopique donne rapidement des réponses précises à

ces questions. Les indicateurs radio-isotopiques se détectent à grande profondeur dans le sol et les isotopes stables indiquent la direction, le parcours et les débits des courants à l'entrée et à la sortie des réservoirs. Ces précieux auxiliaires précisent où il faut forer et comment réinjecter dans le réservoir afin de s'assurer une ressource durable et d'éviter le rejet de l'eau usée dans l'environnement. De récents projets de coopération technique de l'AIEA ont aidé la Chine, l'Ethiopie, la Grèce, le Guatemala, l'Indonésie, le Mexique et le Nicaragua à s'équiper pour exploiter leurs ressources géothermiques, grâce au transfert de connaissances techniques et de matériel d'hydrologie isotopique.

El Salvador et les Philippines exploitent déjà la géothermie et l'AIEA les assiste car leurs programmes respectifs de développement économique donnent la priorité à cette forme d'énergie.

Les Philippines sont déjà le deuxième producteur mondial d'électricité géothermique et, bien que le gros de la production soit toujours assuré par le pétrole importé, la part du géothermique est actuellement de 24 %



Photo: J. Gerardo/AIEA

(1 036 MWe) et ne cesse d'augmenter. Les sources exploitées promettent une nouvelle tranche de 680 MWe dans les trois ans et d'autres sources prospectées fourniraient plus de 2 500 MWe vers la fin du siècle, ce qui ferait des Philippines le premier producteur mondial.

El Salvador se place parmi les dix premiers producteurs mondiaux, mais la part du géothermique n'est que de 14 % de la production nationale d'électricité (900 MWe). Le champ d'Ahuachapan exploité depuis 1975 produit 58 MWe avec ses 32 puits. Un nouveau champ, à Berlin, a été mis en exploitation en 1992 et produit 5 MWe avec dix puits. Depuis la mise en œuvre, en 1992, du programme de reconstruction économique, la demande d'électricité a augmenté à raison de 9 % en moyenne par an; le mazout et le gaz importé assurent environ 40 % de la production totale et l'hydroélectrique 46 %, mais son expansion est limitée car le seul grand cours d'eau du pays est presque totalement exploité.

Le plan national prévoit le doublement de la production géothermique au cours des cinq prochaines années. Au moins 180 millions de dollars d'un nouveau prêt de 215 millions consenti par la Banque interaméricaine de développement lui seront consacrés: 15 nouveaux puits à Ahuachapan, 18 à Berlin, et prospection ailleurs. Le Gouvernement compte réduire ses importations de combustible fossile de 20 % en deux ans, ce qui représente une économie annuelle de 32,8 millions de dollars, et continuera de les freiner progressivement. Par ailleurs, environ 225 000 logements seront électrifiés. En résumé, le projet modèle contribue à doter le pays de moyens d'interpréter les données isotopiques et géochimiques indispensables à la prospection et à l'exploitation à long terme de la géothermie, de sorte que El Salvador sera en mesure de fournir à son tour des services analytiques à d'autres pays de la région.





Scène caractéristique autour d'un puits saharien. (Photo: Carnemark/Banque mondiale)

des techniques isotopiques à neuf pays de l'Afrique du Nord — Algérie, Egypte, Ethiopie, Libye, Mali, Maroc, Niger, Sénégal et Soudan — afin qu'ils puissent mieux exploiter leurs ressources d'eaux souterraines. L'Egypte, l'Ethiopie, le Maroc et le Sénégal, confrontés à des problèmes urgents, bénéficient de la première phase du projet (1995/1996). La seconde phase concernera les cinq autres pays et débutera en 1997.

- L'Egypte compte aujourd'hui presque exclusivement sur l'eau du Nil. La vallée étant déjà surpeuplée, le projet modèle vise à «récupérer» les abords du Sahara voisin. Il existe déjà quelques établissements à Qena et Esna, au nord-ouest. La nappe aquifère peu profonde associée au Nil peut-elle irriguer 50 000 hectares et alimenter deux millions d'habitants?

- En Ethiopie, la région de Moyale (environ 45 000 km<sup>2</sup>) connaît souvent la sécheresse. Les nappes aquifères suffisent-elles pour approvisionner en permanence trois millions

d'habitants et un cheptel parmi les plus nombreux d'Afrique?

- Dans le sud-ouest du Maroc, au sud de l'Atlas, un demi-million d'habitants mènent une existence précaire sur les 15 000 hectares qu'ils cultivent dans les plaines de Tafilat et de Guelmim, ne comptant que sur l'eau de quelques oueds capricieux. Les nappes aquifères voisines peuvent-elles leur fournir de l'eau de bonne qualité en abondance?

- A Dakar, capitale du Sénégal, 70 % de l'eau consommée par les deux millions d'habitants provient de nappes aquifères côtières. La demande journalière est de 250 000 m<sup>3</sup>. En période de sécheresse, environ 100 000 m<sup>3</sup> font défaut. Quel complément peut être tiré des aquifères sans risquer l'intrusion d'eau salée?

Voilà les grandes questions auxquelles la première phase du projet modèle doit répondre après avoir étudié et analysé la composition isotopique des ressources locales.

Les trois isotopes importants en hydrologie sont le deutérium (<sup>2</sup>H), le tritium (<sup>3</sup>H) et l'oxygène 18 (<sup>18</sup>O). Comme ils sont plus lourds que les deux autres (<sup>1</sup>H et <sup>16</sup>O, respectivement), la vapeur d'eau qui s'élève pour former les nuages contient moins de <sup>2</sup>H, <sup>3</sup>H et <sup>18</sup>O que l'eau de mer. Lorsque les nuages se condensent, ces isotopes sont entraînés de préférence et l'humidité qui reste dans le nuage pour se condenser ultérieurement en contient relativement moins. Par conséquent, la composition isotopique des pluies n'est pas la même dans les régions côtières, à l'intérieur et dans les montagnes.

D'autres variations des rapports <sup>2</sup>H/<sup>1</sup>H et <sup>18</sup>O/<sup>16</sup>O (surtout en fonction de la température) se produisent lors du retour de l'eau de pluie vers l'océan selon divers modes, profondeurs et vitesses, de sorte que la composition isotopique est fonction du milieu, l'analyse d'un échantillon pouvant alors révéler l'âge, l'origine et le mode de transport de l'eau. En hydrologie isotopique, on peut aussi mesurer les rapports isotopiques de plusieurs autres éléments, tels l'hélium, le carbone, l'azote, le soufre et le chlore, selon l'objet de l'étude.

Les premiers résultats obtenus en Egypte semblent prometteurs. On a pu vérifier que la nappe aquifère peu profonde associée au Nil est alimentée par la gigantesque formation aquifère gréseuse de Nubie, adjacente et plus profonde. Les études en cours devraient permettre de préciser le débit d'alimentation. Le fait que la nappe aquifère nubienne contient des eaux extrêmement anciennes qui

suite page 6



# Isotopes et hydrologie

Vue de l'espace, la Terre est une planète bleue, la seule de l'univers visible. L'eau y est le principe même de toute vie. Elle recouvre les deux tiers de la surface du globe et les experts ont calculé que son volume atteint 1,5 milliard de  $\text{km}^3$ , dont environ 2 % sont de l'eau douce pratiquement toute retenue par les glaciers, les calottes polaires et les réservoirs souterrains. On évalue à 2 000  $\text{km}^3$  la quantité dont l'homme peut immédiatement disposer. Cela a suffi pour entretenir la vie, mais la demande mondiale double tous les 21 ans, selon l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). A mesure que la pollution d'origine industrielle, agricole et domestique gagne cette masse finie, l'eau devient chaque jour un bien plus précieux.

Le passé récent a connu les conflits entre nations au nom d'un droit d'accès aux combustibles fossiles. Des conflits analogues pourraient surgir dans l'avenir à cause de la pénurie d'eau, car nombreux sont les pays qui manquent de ressources facilement accessibles ou suffisamment abondantes pour répondre à leurs besoins. La coopération technique de l'AIEA leur offre une aide croissante (et favorise la coopération régionale) pour les aider à prospecter et à gérer les ressources d'eau en ayant recours à l'hydrologie isotopique et à ses méthodes d'analyse si utiles aux spécialistes. L'Agence a installé à Vienne un laboratoire modèle d'hydrologie isotopique à cette fin. Les projets de coopération technique consistent généralement à organiser des cours et à fournir des services d'experts et du matériel pour améliorer les infrastructures locales et les connaissances techniques en vue de l'étude des ressources hydrauliques à l'aide d'indicateurs isotopiques.



Photo: Carnemark/Banque mondiale

Notre encart est consacré aux applications des techniques isotopiques qui permettent de gérer efficacement et de façon durable l'exploitation et la conservation de l'eau. Les isotopes sont d'ailleurs de remarquables auxiliaires dans maints domaines des sciences naturelles. La plupart des éléments se composent de divers isotopes presque identiques chimiquement, mais différents quant à leur masse atomique. La molécule de notre eau si précieuse est faite essentiellement de deux isotopes, l'hydrogène 1 ( $^1\text{H}$ ) et l'oxygène 16 ( $^{16}\text{O}$ ). En plus de ces isotopes «abondants», elle contient des isotopes «rares» ( $^2\text{H}$  et  $^{18}\text{O}$ ) à des concentrations relativement faibles et variables. Ce sont eux qui ouvrent le large éventail des études hydrologiques.

L'hydrologie isotopique est devenue une spécialité multidisciplinaire: en géothermie, elle aide à déceler les zones à flux thermique élevé et l'origine des fluides. Des forages jusqu'à 3 000 mètres de profondeur atteignent les réservoirs et en captent la vapeur, transportée ensuite jusqu'à la centrale. Les isotopes du bore facilitent le dépistage et la mesure de la contamination des eaux souterraines par les égouts. La concentration dans l'atmosphère du dioxyde de carbone

( $\text{CO}_2$ ) et du méthane ( $\text{CH}_4$ ) ne cesse d'augmenter et semble provoquer l'effet de serre responsable de l'échauffement de la planète. L'analyse subatomique des isotopes du carbone aide à déterminer ce que deviennent ces gaz dans l'atmosphère et à élucider ce phénomène écologique complexe. La composition isotopique de l'eau renseigne sur les paléoclimats et leur évolution, et les spécialistes suivent et comparent les phénomènes liés à l'échauffement de la planète. Les techniques isotopiques servent à expliquer d'autres phénomènes, telle l'élévation du niveau de la mer Caspienne. Dans l'encart de notre prochain numéro, nous nous occuperons de ces autres applications au service d'une gestion écologique des ressources naturelles.

Au cours des dix dernières années, l'AIEA a assisté quelque 160 projets de coopération technique, d'un montant de 18,8 millions de dollars; les transferts de technologie et de connaissances techniques aident 63 pays à mettre en place l'infrastructure nécessaire et plus de 550 stagiaires ont été formés afin de doter les pays d'un personnel capable d'appliquer les techniques isotopiques et de gérer les ressources naturelles. Dans cet encart, nous avons présenté quelques projets contribuant effectivement à l'amélioration de la qualité de vie des êtres humains aux quatre coins du monde.



n'ont pas été activement alimentées depuis la dernière période pluvieuse, il y a quelque 6 000 ans, n'est pas considéré comme un problème. Les prélèvements pour la zone récupérée ne risquent pas de l'épuiser, mais l'étude devrait quand même préciser combien on peut en tirer, et à quel rythme, sans conséquences fâcheuses.

Pour le Maroc, les nouvelles sont mitigées. Les résultats vont à l'encontre de ceux d'études hydrologiques classiques antérieures indiquant que la nappe très ancienne au nord de Tafilalt était réalimentée. Une exploitation imprudente risquerait donc de la tarir. En revanche, les analyses isotopiques montrent que deux autres systèmes, l'un dans le sud de la plaine de Tafilalt et l'autre dans la plaine de Guelmim, ont été alimentés par des précipitations récentes. En mai, une étude isotopique de la zone non saturée a commencé dans le sud du bassin de Tafilalt (aire d'infiltration des précipitations), pour quantifier l'alimentation et l'écoulement, ainsi que la contamination éventuelle de la nappe.

Au Sénégal, les autorités espèrent qu'il sera possible, à l'issue de l'étude, de puiser suffisamment dans la nappe pour compenser à 70 % le déficit actuel. Il s'agit surtout de déterminer le volume que l'on peut extraire sans craindre l'intrusion d'eau de mer et de mettre au point les moyens de gérer prudemment cette ressource. Le Sénégal dispose déjà de spécialistes des études isotopiques dans la zone non saturée, qui pourront participer aux travaux.

En Ethiopie, l'étude régionale de Moyale permet de préciser les caractéristiques de reconstitution des nappes et très probablement aussi le débit d'alimentation. Ces données que l'on ne saurait obtenir autrement sont indispensables à une bonne gestion des eaux. Au titre du projet, 14 sites



*Des stagiaires algériens, marocains et sénégalais affectés au projet analysent l'eau d'un puits aux environs de Dakar. (Photo: K. Froehlich/AIEA)*

Les eaux de pluie qui s'infiltrent dans le sol retournent généralement là d'où elles viennent, c'est-à-dire à la mer. Toutefois, une partie est absorbée par les plantes, puis rejetée dans l'atmosphère par la transpiration, ou bien se déverse dans un lac et finit par s'évaporer, ou encore se mêle à un cours d'eau qui la ramène vite à la mer. Le reste chemine lentement à diverses profondeurs dans le sol. De larges poches de ces eaux paresseuses saturées de multiples formations rocheuses. La plupart de ces «zones saturées» ou nappes aquifères sont alimentées par les pluies assez rapidement pour demeurer saturées. On peut en tirer de l'eau régulièrement par divers moyens (puits de surface ou forages profonds) selon le rythme de reconstitution. Des nappes très profondes se sont peut-être formées dans des temps préhistoriques à la suite de violentes précipitations. Non reconstituées par de nouvelles pluies, elles se faufilent aussi jusqu'à la mer, mais si lentement qu'elles peuvent durer des millions d'années avant de tarir. Entre-temps, elles vieillissent et sont «datées» par des radio-isotopes naturels tels que le carbone 14, ce qui permet de déterminer si la masse d'eau est finie ou non.

de forage ont été examinés du point de vue géophysique et six nouveaux puits ont été forés jusqu'à présent.

Il ne suffit pas de trouver de l'eau; encore faut-il bien la gérer. C'est là un des principaux objectifs du projet.

A cette fin, on a entrepris, au début de 1996, l'étude de modèles informatiques de gestion, sous l'impulsion d'un séminaire au Sénégal et d'un atelier au Maroc. Une formation com-

plémentaire et de nouveaux logiciels fondés sur les résultats du projet seront achevés vers la fin de cette année.

Ces logiciels s'inspirent de ceux du Service géologique des Etats-Unis et de l'Organisation de recherche scientifique de l'Australie, les informaticiens de ces deux organismes ayant prêté leur concours au projet et assuré la formation nécessaire.



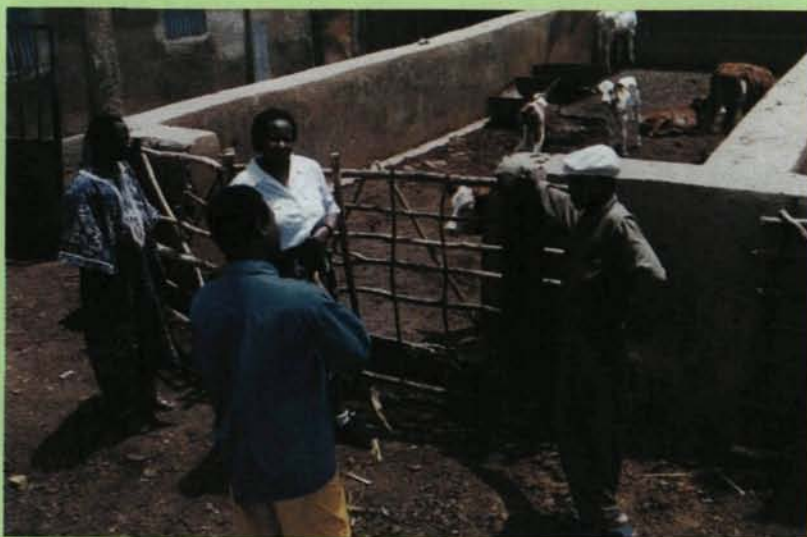
### Le dessalement de l'eau de mer progresse

Avec 1,5 milliard de km<sup>3</sup> d'eau de mer répartis sur les deux tiers de la surface du globe, maintes populations privées d'eau seraient généreusement approvisionnées si l'on faisait la démonstration d'un moyen économique de dessaler l'eau de mer. Telle est l'hypothèse de travail d'une étude technico-économique entreprise par l'Agence en 1994: plusieurs options comportent l'emploi de réacteurs nucléaires de petite et moyenne puissance comme source éventuelle de chaleur pour des usines de dessalement produisant de l'eau potable à bas prix pour l'Afrique du Nord.

Un des participants à ces travaux, le Maroc, est sur le point de lancer, avec l'aide de l'Agence et de la Chine, l'étude d'un prototype d'installation de démonstration. Il est prévu d'utiliser un réacteur de 10 MWe fourni par la Chine pour produire 8 000 m<sup>3</sup> d'eau douce par jour. L'Algérie, l'Arabie saoudite, l'Egypte (également pour l'étude technique), la Jamahiriya arabe libyenne et la Tunisie collaborent aussi à ce travail. L'Argentine, le Canada, la Corée (République de), les Etats-Unis, la Jamahiriya arabe libyenne, la Jordanie et l'Agence arabe de l'énergie atomique ont versé plus de 670 000 dollars pour financer le projet. En collaboration avec l'OMM, l'OMS, l'ONUDI et l'Union européenne, l'AIEA organisera un colloque international sur la question en 1997.

### Contre la trypanosomiase au Mali

Un peu partout en Afrique, le cheptel est attaqué par la mouche tsé-tsé vecteur de la nagana, variante de la maladie du sommeil (voir *Un fléau du bétail mis en échec, Radiographie de*



*La nagana gagne du terrain au Mali. (Photo: P. Fouchard/AIEA)*

la CT, mai 1996). Aux alentours de Bamako, le bétail est infecté à 45 %, ce qui a décidé le Gouvernement malien à organiser une table ronde avec ses partenaires de développement en vue de coordonner une action intégrée pour combattre le fléau. Les organismes d'assistance d'Allemagne, des Etats-Unis et de France ont patronné des projets de développement de l'élevage dans la région, dont les représentants ont assisté à la réunion.

Cette table ronde, réunie du 27 au 31 mai 1996, a envisagé la possibilité de lancer dans cette région une campagne de destruction par des moyens classiques (pièges, écrans et insecticides) en collaboration avec les habitants, pour décimer la population de mouches tsé-tsé dans un secteur de 2 000 km<sup>2</sup> environ, et de préparer une intervention éventuelle par la méthode de l'insecte stérile. Le Gouvernement a entrepris une étude socio-économique pour déterminer l'étendue du problème de la mouche tsé-tsé et de la trypanosomiase. Comptant sur le succès de cette réunion, l'Agence a fait une étude technique pour limiter le périmètre de dispersion de l'insecte et préciser les tactiques de lâcher et de récupération de mâles stériles marqués.

### Au Venezuela, de l'eau (suite de la page 2)

constant de la qualité des eaux extraites du sol, offre une formation technique et du matériel de laboratoire, précisément pour le contrôle de la qualité de l'eau, et contribue à l'élaboration d'un modèle mathématique permettant de prévoir l'évolution des écoulements et les variations des niveaux piézométriques, et garantissant ainsi une exploitation sûre et durable.

Le premier résultat concret est que le service des eaux, Hidrocapital, a décidé de forer de nouveaux puits. Le choix de leurs sites et de leurs caractéristiques est fait d'après les données obtenues grâce au projet de l'AIEA. Quinze puits ont déjà été forés et 50 autres le seront avant la fin de l'année. On estime qu'ils fourniront plus de 112 000 m<sup>3</sup> d'eau par jour, soit 46 % du déficit actuel.

La municipalité se propose de continuer son programme de forage à long terme afin que des établissements d'importance stratégique tels que les hôpitaux et les casernes de pompiers aient de l'eau à leur disposition en cas d'urgence. Dix hôpitaux sont déjà équipés de puits spéciaux à cet effet.



# Des plaines assoiffées attendent la manne des montagnes

L'Atacama est une région du Pérou qui borde l'océan Pacifique, et c'est aussi l'endroit le plus sec du monde avec à peine 10 mm de précipitations annuelles. Juste au nord s'étend une plaine côtière de 7 500 km<sup>2</sup> tout aussi déshéritée, mais une population agricole y vit depuis des siècles sur les berges des deux seuls cours d'eau permanents qui descendent des Andes vers le Pacifique.

Deux agglomérations anciennes, Moquegua et Tacna, situées à quelque 80 km l'une de l'autre et entre 15 et 20 km de la côte, sont devenues des villes, et environ 200 000 habitants occupent aujourd'hui cette zone de la plaine côtière, vivant essentiellement des mines de cuivre voisines et de petites industries. A l'extrême nord de cette zone, le port d'Ilo s'est urbanisé à son tour depuis qu'un traité en a fait le seul accès de la Bolivie à la mer. La route très fréquentée qui vient de La Paz traverse la province de Moquegua.

La demande croissante d'eau de ces agglomérations dépasse déjà la capacité des deux cours d'eau. Les services provinciaux des eaux cherchent le moyen d'améliorer l'approvisionnement, tout au moins en eau potable et à usage domestique. Ils se tournent vers l'*altiplano* — vaste étendue de millions d'hectares perchée entre 3 400 et 4 000 m au-dessus du niveau de la mer entre les deux cordillères que se partagent le Pérou et la Bolivie — où les précipitations atteignent 300 à 400 mm d'eau par an. Ce n'est pas énorme, mais certains géologues ont pensé qu'il y aurait sans doute là des formations aquifères suffisantes pour approvisionner les plaines côtières.

L'hydrologie du haut plateau n'a jamais été étudiée. Aussi l'AIEA a-t-elle lancé en 1995 un projet de coopération technique à l'intention des provinces pour faire une étude hydrologique complète de l'*altiplano*



*Dans l'Atacama, chacun souffre du manque d'eau.  
(Photo: C. Fjeld/AIEA)*

et prévoir les moyens d'amener l'eau jusqu'aux régions côtières. Les résultats des analyses isotopiques réalisées jusqu'à présent ne sont pas tous encourageants. La plupart des nappes aquifères sont peu étendues, compartimentées par des formations imperméables, et ne sont guère alimentées que par les précipitations. La situation hydrologique est donc très complexe.

L'évaporation et l'évapotranspiration due surtout à la flore sont très intenses. Les herbes en touffes et autres plantes du cru ont des racines peu profondes de sorte que, si l'eau proche de la surface baisse beaucoup du fait de l'extraction, la végétation en pâtira, ce qui sera catastrophique pour les vigognes, lamas, alpacas et autres animaux de ces parages, et pour la population autochtone des villages épars qui vit de récoltes acclimatées aux dures conditions locales.

Quelques nappes aquifères semblent cependant exploitables et l'on fore

déjà des puits selon les données. Le tritium et le carbone 14 y sont utilisés pour démêler le réseau complexe des eaux souterraines de l'*altiplano* et obtenir les informations indispensables à l'élaboration des modèles d'écoulement qui permettront de gérer judicieusement ces ressources. Les eaux du haut plateau pourraient atteindre la plaine côtière en empruntant le lit des rivières à sec ou des canaux débouchant dans les cours d'eau permanents.

Il y a des années que l'Agence aide son homologue, l'Institut de l'énergie nucléaire du Pérou, à développer son infrastructure et ses moyens, ce qu'il a déjà fait en installant un laboratoire d'analyse à Tacna. Il a d'ailleurs reçu un spectromètre d'absorption atomique ainsi que du matériel de carottage, des services d'experts et des moyens de formation. Il appartient désormais au service provincial des eaux et à l'Institut de résoudre des problèmes particuliers, tel celui que pose la voie naturelle d'adduction qui passe en haute altitude par des sources d'eau bouillante très saline et riche en bore et en arsenic, deux poisons pour les plantes et l'être humain.

On peut envisager plusieurs solutions: creuser des canaux sur une cinquantaine de kilomètres, installer une centrale électrique utilisant l'eau bouillante et recycler celle-ci dans le réservoir géothermique; ou construire à grands frais une installation de décontamination. Le projet s'achèvera cette année et les données obtenues permettront d'évaluer ces options et d'amener enfin aux plaines assoiffées les eaux providentielles de l'*altiplano*.

**RADIOGRAPHIE de la coopération technique est un produit de Maximedia pour l'AIEA. Les articles de cette série peuvent être librement utilisés. Pour tous renseignements, s'adresser à la Section de coordination des programmes, Département de la coopération technique, Agence internationale de l'énergie atomique, B.P. 100, A-1400 Vienne, Autriche. Tél: +43 1 2060 26005 Fax: +43 1 2060 29633 CE: foucharp@tcpo1.iaea.or.at**

dans un dépôt agréé. Les déchets de faible et moyenne activité des centrales nucléaires sont évacués dans des tranchées aménagées, des casemates en béton ou des cavités souterraines, après un emballage préalable. Les déchets de haute activité, dont le combustible épuisé, sont destinés à être évacués dans des formations géologiques profondes ou stockés sous une forme récupérable.

### **Orientations futures**

L'Action 21 adoptée par la CNUED précise que la réduction de la quantité de déchets des activités humaines est un élément critique de la stratégie du développement durable de la société. La production d'électricité, si nécessaire au développement, est une source de déchets qu'il est indispensable de limiter. Pour évaluer le rôle potentiel de l'option nucléaire dans une stratégie mondiale visant une production propre et un développement durable, l'AIEA a lancé un projet sur les effets sanitaires et écologiques comparés des déchets solides des systèmes énergétiques.

Les tâches consistent à déterminer les quantités et les types de déchets des options de production d'électricité et à préciser leur mode d'évacuation; à étudier et à tester les méthodes utilisables pour comparer les effets sanitaires et écologiques potentiels de l'évacuation de ces déchets dus, par exemple, au dégagement et au transport dans l'environnement de leurs composants radioactifs et non radioactifs; et à examiner les autres évaluations comparatives qui ont été faites. Les méthodes de comparaison des effets sanitaires et écologiques des radionucléides et des éléments ou composés non radioactifs toxiques ainsi que la modélisation de leur transport et de leur destination dans l'environnement, sous terre et en surface, seront un volet essentiel de l'évaluation comparative.

Nous avons brièvement présenté dans cet article les données acquises à ce jour pour la première partie du projet, donné une idée de la nature et de la masse des déchets de l'option nucléaire et des autres chaînes énergétiques, et montré que les déchets du nucléaire n'étaient qu'une petite fraction de tous les déchets produits et de ceux de la production d'électricité. Ce fait milite en faveur de l'énergie nucléaire dans le contexte d'une production propre et d'une stratégie de développement durable de la société.

Nous avons aussi souligné qu'il importait de tenir compte de tous les stades des chaînes énergétiques, dont l'examen détaillé précise que même celles d'entre elles qui sont réputées «propres» (énergie solaire et gaz naturel) produisent en fait des déchets (composés métalliques dangereux pour la première, et déchets radioactifs et dangereux du forage et des circuits pour la seconde) impliquant des risques potentiels à long terme pour la santé et l'environ-

nement. De même, les grandes quantités de déchets de certaines chaînes énergétiques (cendres volantes et déchets de désulfuration des fumées) posent des problèmes d'évacuation.

Les prochains travaux consisteront à définir et à quantifier de façon plus précise les déchets et les méthodes d'évacuation qui caractérisent les chaînes énergétiques actuelles, à examiner et à tester les méthodes de modélisation du transport et de la destination des contaminants contenus dans ces déchets, et à calculer l'impact sanitaire et écologique qui en résulte.



# Pour la science et la technologie: centres de constantes nucléaires au service du développement

*Le centre de constantes nucléaires de l'AIEA, ses services et la contribution des pays en développement au réseau mondial*

par  
Hans Lemmel

L'analyse de matières minérales par activation neutronique est une application typique de la physique nucléaire moderne. L'échantillon à étudier est exposé à un rayonnement neutronique et l'on analyse le spectre gamma qui en résulte pour en déterminer les intensités et les énergies afin de connaître la composition minérale de l'échantillon. Cette méthode couramment utilisée dans les pays industriels et de plus en plus fréquemment dans les pays en développement exige des séries complètes de constantes nucléaires: sections efficaces d'activation neutronique pour les éléments présents dans l'échantillon, période radioactive et constantes de désintégration pour les nucléides activés.

La radiothérapie est un autre exemple de l'importance des applications des constantes nucléaires. Dans certaines conditions, le cancer peut être traité par divers types de rayonnements: ions lourds, particules chargées ionisantes, électrons, photons ou neutrons. Pour choisir le rayonnement qui convient le mieux et juger de son impact sur la tumeur et de ses effets nocifs sur les tissus voisins, l'ordinateur doit disposer de diverses bases de données comprenant des sections efficaces d'ionisation et de diffusion.

Ces données sont mises à la disposition des scientifiques de tous les Etats Membres par le service des constantes nucléaires de l'AIEA. Elles sont disponibles sur bande magnétique et sur disquette, avec indication de leur format et de leur origine. Depuis peu, les principales collections mondiales de données sont accessibles grâce au système de documentation sur les constantes nucléaires, par l'intermédiaire d'Internet ou du World Wide Web. Il existe plusieurs recueils de constantes toujours utiles aux usagers en plus des services informatiques en plein essor.

La Section des constantes nucléaires de l'AIEA gère un centre qui possède le répertoire mondial le

plus complet des collections de constantes nucléaires et atomiques nécessaires aux applications technologiques des rayonnements dans les Etats Membres. Nous passerons en revue ces différents services, sans oublier le rôle important des pays en développement dans ce réseau mondial de documentation.

## Applications à l'énergie et à d'autres domaines

Ces constantes nucléaires deviennent indispensables dans tous les domaines de la technologie nucléaire, mais c'est pour la recherche et le développement dans le secteur de l'énergie d'origine nucléaire qu'elles ont été de loin le plus utiles (*voir l'encadré, page suivante*). Comme bon nombre d'entre elles servent à des applications dans d'autres domaines, les collections de données fondamentales sont à «usage général» et ne visent pas des applications spécifiques (*voir l'encadré, page 36*). Elles sont plutôt volumineuses, chacune étant de l'ordre de 100 mégamultiplés, et se présentent sous des formats internationalement agréés pour lesquels il existe divers codes informatiques de traitement.

Plusieurs collections «spéciales» ont été constituées aux fins d'applications spécifiques. Citons celles qui se spécialisent en données de référence pour la normalisation des mesures nucléaires, l'étalonnage des détecteurs, la dosimétrie des neutrons et maintes autres opérations. Elles sont de format plus réduit, donc d'un emploi plus facile sur ordinateur individuel. Des manuels de constantes nucléaires contiennent non seulement des tableaux et des courbes de constantes, mais aussi des instructions détaillées sur les méthodes de mesure pour des applications déterminées (*voir l'encadré, page 36*).

Outre leurs applications en nucléo-énergétique, les constantes nucléaires servent à diverses fins: enseignement universitaire, recherche en physique nucléaire, centres ou établissements nationaux, recherche et développement, analyse par activation

M. Lemmel est cadre de la Section des constantes nucléaires, Division des sciences physiques et chimiques, AIEA.

neutronique, procédés industriels, dosimétrie, étalonnage de détecteurs, production de radio-isotopes médicaux et applications en radiothérapie.

### Mesures des constantes nucléaires

S'il est vrai que les premiers réacteurs ont démarré alors que l'on n'avait qu'une connaissance élémentaire des constantes nucléaires, on s'est vite aperçu que leur rendement, leur économie et leur sûreté exigent non seulement une connaissance précise et détaillée de toutes les constantes en jeu, mais aussi une analyse fine des incertitudes et de leurs conséquences. Des constantes laissant prévoir le comportement du réacteur dans des conditions d'exploitation anormales et permettant de préciser les sections efficaces d'endommagement sous rayonnement, et donc de prédire plus exactement la durée utile de la cuve, améliorent la sûreté et l'économie d'exploitation du réacteur. Il s'ensuit qu'une métrologie des constantes nucléaires juste un peu plus précise peut se traduire par des millions de dollars d'économies d'exploitation des réacteurs dans le monde entier.

C'est pourquoi un programme global de mesure des constantes nucléaires a été entrepris dans les années 50, notamment aux Etats-Unis, en Europe occidentale, dans l'ex-Union soviétique et au Japon; il a culminé dans les années 70 et au début des années 80, et continue, bien que moins activement. Plusieurs mesures ont été faites par des pays en développement parmi les plus avancés.

### Evaluation des constantes nucléaires

Les premières mesures souffraient d'une assez grande imprécision et plusieurs mesures d'une même constante différaient souvent entre elles. Un gros effort a été entrepris pour y remédier: perfectionnement des méthodes, de l'instrumentation, des détecteurs de rayonnement, des analyseurs électroniques, et préparation d'étalons isotopiques purs, jusqu'à ce que l'on obtienne les constantes de haute précision nécessaires aux applications des techniques nucléaires.

Une science est née: l'évaluation des constantes nucléaires. Les spécialistes partent des données expérimentales existantes, les complètent par des estimations théoriques dans les domaines d'énergie et pour les types de données qui n'ont pas fait l'objet d'expériences, et classent les valeurs obtenues, et recommandées, dans les formats nécessaires aux codes informatiques pour des applications spécifiques.

Les banques de constantes nucléaires ainsi constituées sont d'un intérêt considérable et leur libre échange entre pays industrialisés et en développement est l'indice d'un utile transfert de la technologie.

### Diverses catégories de constantes nucléaires

#### *Constantes de structure et de désintégration nucléaires*

- Masses isotopiques; niveaux nucléaires et leurs propriétés;
- Périodes des radionucléides et des isomères;
- Energies et intensités des rayons gamma et des particules émises.

#### *Constantes de réactions nucléaires*

- Sections efficaces des réactions nucléaires induites par neutrons, photons, protons et autres particules chargées, y compris les ions lourds;
- Réactions provoquant l'activation, les dommages radio-induits, la production de radio-isotopes, la fission, la spallation, la transmutation, etc.;
- Densités et énergies des rayons gamma et des particules secondaires;
- Fission nucléaire: densité de neutrons et de produits de fission, énergie libérée, etc.

#### *Constantes atomiques*

- Interactions avec les électrons;
- Interactions de fusion dans le plasma;
- Processus atomiques en radiothérapie.

### Apport des pays en développement

Quel rôle ont joué les pays en développement dans l'évaluation des constantes nucléaires? Entre 1970 et 1990, environ 44 000 mesures de constantes neutroniques ont été faites dans le monde entier, dont 4 000 (soit 9 %) dans 32 pays en développement. Pour faciliter dans ce domaine un transfert de la technologie qui puisse renforcer les moyens dont disposent ces derniers pour utiliser les maintes applications des techniques nucléaires, l'AIEA a mis en œuvre, dans les années 80, un projet de coopération technique interrégional sur les techniques et instruments de mesure des constantes nucléaires. Par la suite, ces pays ont participé au programme de recherche coordonnée de l'Agence visant la création ou l'amélioration de bases de constantes nucléaires pour applications spécifiques (sections efficaces d'activation par les neutrons de 14 MeV, constantes pour les applications médicales, constantes des actinides dans les réacteurs à fission, et constantes nucléaires et atomiques pour l'étude des réacteurs à fusion).

La situation est variable. Un certain nombre de pays en développement — Argentine, Bangladesh, Brésil, Egypte, Israël, Maroc, Pakistan, Thaïlande, Turquie, Viet Nam et plusieurs pays d'Europe orientale, entre autres — ont entrepris des programmes de mesure de constantes nucléaires qui durent encore. L'Algérie, l'Arabie saoudite, la Malaisie,



## Banques de constantes nucléaires

(sigle, origine, contenu)

### Principales banques générales

- EXPOR; réseau international de centres de constantes nucléaires; constantes de réactions nucléaires expérimentales;
- ENSDF; United States and International Network; constantes de structure nucléaire et constantes de rayonnement des radionucléides;
- *Banques de constantes de réactions nucléaires évaluées, en format «ENDF» uniforme*: ENDF/B-6, Etats-Unis; JEF-2, Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire; JENDL-3.2, Japon; BROND-2, Fédération de Russie; CENDL-2, Chine;
- FENDL; réseau AIEA et international; constantes nucléaires pour l'étude des réacteurs à fusion et autres applications.

### Banques spéciales

- N.D. Standards; comité international des constantes nucléaires de l'AIEA; normes pour les mesures nucléaires;
- XG Standards; programme de recherche coordonnée de l'AIEA; étalonnage des détecteurs de rayons gamma et de rayons X;
- IRDF; AIEA en collaboration avec d'autres centres; constantes internationales pour la dosimétrie des réacteurs, dosimétrie des neutrons par activation de feuilles;
- IDGAM; Japon-Brésil; identification des radionucléides par leur rayonnement gamma;
- ALADDIN; réseau de l'AIEA et des centres de constantes; constantes de collision atomique et moléculaire pour la fusion nucléaire;
- SGNucDat; Section des constantes nucléaires de l'AIEA; constantes nucléaires pour les garanties;
- GANAAS; Section de physique de l'AIEA; analyse par activation neutronique;
- CENPL; Chine; divers paramètres nucléaires évalués;
- MENDL-2; Fédération de Russie; transmutation nucléaire.

## Réseau de centres de constantes nucléaires

- Centre national de constantes nucléaires, Brookhaven, Etats-Unis; dessert les Etats-Unis et le Canada;
- Banque de données de l'Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire, Paris, France; dessert les pays européens de l'OCDE et le Japon;
- Section des constantes nucléaires de l'AIEA, Vienne, Autriche; dessert essentiellement les pays en développement et coordonne le réseau mondial;
- Centres russes de constantes nucléaires, Obninsk et Moscou, Fédération de Russie; dessert les Etats issus de l'ex-URSS.

*Le réseau comprend aussi des centres nationaux de Chine, de Hongrie et du Japon. D'autres pays y collaborent officieusement.*

## Manuels et recueils

*Atomic and Molecular Data for Radiotherapy and Radiation Research* (IAEA-TECDOC-799, 1995)

*The Index to the Literature and Computer Files on Microscopic Neutron Data* (CINDA, publication annuelle)

*International Bulletin on Atomic and Molecular Data for Fusion* (IBAMD-49, publication semestrielle)

*Handbook on Nuclear Activation Data* (AIEA, Collection Rapports techniques n° 273, 1987, réimprimé en 1995)

*Decay Data of the Transactinium Nuclides* (AIEA, Collection Rapports techniques n° 261, 1986, réimprimé en 1995)

*X-ray and Gamma-Ray Standards for Detector Calibration* (IAEA-TECDOC-619, 1991, réimprimé en 1994)

*Handbook on Nuclear Data for Borehole Logging and Mineral Analysis* (AIEA, Collection Rapports techniques n° 357, 1993)

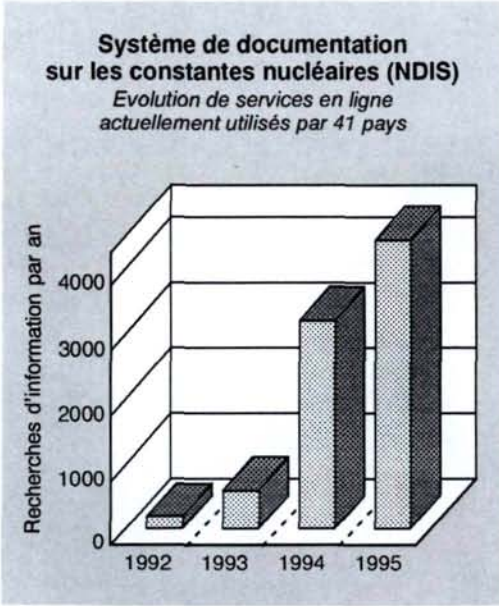
le Mexique, Myanmar et divers autres pays ont communiqué occasionnellement des mesures de constantes nucléaires. L'Inde et la Chine ont lancé chacune un programme très actif, dans les années 70 et vers 1980, respectivement. Tandis que la première l'a sensiblement réduit, la seconde continue de le soutenir vigoureusement.

La République de Corée est un cas intéressant: elle exécute un programme nucléo-énergétique, mais n'a pratiquement pas mesuré de constantes nucléaires dans le passé; toutefois, elle a compris qu'un pays qui utilise largement les techniques

nucléaires en énergétique et dans l'industrie doit nécessairement disposer d'une bonne infrastructure en physique nucléaire, notamment de mesures de constantes nucléaires. Aussi prévoit-on qu'elle fera prochainement un gros effort dans ce domaine.

Pour les applications en énergétique nucléaire, il faut, en particulier, transposer les collections de constantes dans les formats spéciaux («constantes multigroupes») adaptés aux codes informatiques. Parmi les pays en développement, ce sont surtout l'Algérie, la Corée (République de), l'Inde, l'Indonésie et la Slovénie qui se livrent à ce travail





**Services de constantes nucléaires en 1990-1995 par région**

Région	Par courrier		En connecté	
	Nombre de pays	Demandes (%)	Nombre de pays	Demandes (%)
Pays de l'OCDE	22	24	17	36
Pays de l'ex-URSS	6	7	2	17
Europe orientale	9	18	8	40
Asie, Australie	15	24	6	1
Afrique et Proche-Orient	26	13	2	3
Amérique latine	15	14	6	3
<b>Total</b>	<b>93</b>	<b>100</b>	<b>41</b>	<b>100</b>

par ailleurs coordonné par l'AIEA et secondé par des cours de formation.

Un autre projet coopératif concerne la tenue à jour de la base de données internationales pour les constantes de structure et de décroissance nucléaires. La Chine, la Fédération de Russie et le Koweït se sont joints à sept pays de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) dans le cadre de ce projet guidé par l'AIEA et par le Centre national des constantes nucléaires des Etats-Unis.

**Besoins des pays industriels en constantes nucléaires**

En cette matière, les pays industriels sont dans une phase de transition. Les constantes nucléaires nécessaires pour les réacteurs thermiques et les réacteurs rapides étant acquises pour l'essentiel, de nombreux laboratoires de mesure ont été fermés. Dans le même temps, nombre de physiciens expérimentés ont pris leur retraite et l'on réalise subitement qu'il peut y avoir pénurie de jeunes physiciens nucléaires et que l'exploitation de l'énergie nucléaire peut être gravement compromise si l'on ne préserve pas le savoir-faire technique qu'exige la mesure des constantes nucléaires. Cette préoccupation a trouvé son expression dans plusieurs études spécialisées faites aux Etats-Unis, en Fédération de Russie, en France et au Japon, ainsi qu'au sein de l'Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire (AEN/OCDE). Un groupe d'experts chevronnés réuni par l'AIEA en 1995 a conclu que le programme de constantes nucléaires de l'Agence demeure valable et prioritaire pour tous les Etats Membres.

A l'heure actuelle, les pays industriels concentrent leurs efforts sur les constantes nucléaires pour les réacteurs à fusion et sur celles des hautes énergies

nécessaires pour étudier la transmutation des actinides inutiles produits par les réacteurs. Ces travaux exigent des installations onéreuses qui n'existent pas dans les pays en développement.

Parallèlement à cette recherche de pointe, on continue d'améliorer les constantes nucléaires pour les réacteurs à fission. Sous les auspices du Comité international de constantes nucléaires, les centres ont dressé la liste des constantes qui demandent à être précisées en vue d'applications spécifiques aux réacteurs et aux matières nucléaires relevant des garanties; y figurent 290 demandes prioritaires et 430 autres de moindre urgence. Cette liste devrait faciliter la tâche des scientifiques et des administrateurs qui planifient les programmes de recherche nucléaire. Une liste de mesures prioritaires vient d'être établie par l'AEN. Au sein du réseau de centres de constantes nucléaires, l'AEN est l'animateur de la coopération en matière d'évaluation des constantes.

**Coordination internationale**

Dès les années 50, la mesure de constantes nucléaires se généralisait à tel point qu'un centre national a été créé au laboratoire national de Brookhaven, aux Etats-Unis. En 1964, trois autres centres ont été créés à l'AEN, à l'AIEA et à Obninsk (Fédération de Russie), respectivement. Ces quatre centres sont les piliers du réseau de centres de constantes nucléaires coordonné par l'AIEA (voir l'encadré, page 36). Ils assurent la liaison essentielle entre les producteurs et les utilisateurs des données. L'acquisition, la compilation, l'évaluation d'une multitude de données et leur diffusion dans les formats demandés par les utilisateurs doivent être assurées par un dispositif international bien coordonné afin d'évi-



**Les constantes nucléaires sont nécessaires dans de nombreux domaines, y compris la médecine.**

(Photo: H.F. Meyer/AIEA)



ter le double emploi et de rentabiliser au maximum le travail des experts des centres et pays coopérants.

Les prouesses de ce réseau sont remarquables. Grâce à l'échange systématique qui s'opère entre les centres, un scientifique de n'importe quel Etat Membre peut accéder à l'information concernant les constantes nucléaires de toute origine. Les données (tout au moins les catégories principales) sont présentées dans des formats normalisés pour l'ensemble du monde, de sorte que les mêmes codes informatiques servent au traitement des constantes évaluées provenant de Chine, des Etats-Unis, d'Europe, de la Fédération de Russie ou du Japon.

Au sein du réseau, la Section des constantes nucléaires de l'AIEA dessert essentiellement les pays en développement, tandis que les pays industriels sont surtout servis par leurs centres nationaux ou par la banque de données de l'AEN. Aux bases de données communiquées par les centres coopérants pour distribution gratuite à tous les Etats Membres viennent s'ajouter les produits du centre de constantes nucléaires de l'AIEA, dont la plupart sont le fruit des programmes de recherche coordonnée et d'activités coopératives officieuses. Les priorités du programme de constantes nucléaires et atomiques de l'AIEA destinées aux applications sont fixées par le comité international, organe consultatif permanent où siègent le Brésil, la Chine, la Fédération de Russie, la Hongrie, l'Inde et les pays de l'OCDE.

#### **Les demandes de services**

Ces dernières années, le centre des constantes nucléaires de l'Agence a reçu 800 demandes par an

émanant de scientifiques de 93 Etats Membres. Chaque année sont expédiés 300 fichiers de constantes sur bande magnétique et sur disquette, 100 codes informatiques correspondants et 2 000 exemplaires de textes imprimés. En plus de ces services classiques, plus de 4 000 recherches ont été faites en 1995, via Internet, par l'intermédiaire du système connecté de documentation sur les constantes nucléaires (voir le graphique et le tableau de la page précédente).

On s'attend, pour l'avenir, à une croissance rapide de la demande de services en ligne, que la Section des constantes nucléaires s'efforcera d'étoffer et d'améliorer. D'après le nombre des demandes, il est évident que ce sont surtout les scientifiques des pays d'Europe qui utilisent actuellement ces services en connecté. Cet accès informatisé viendra compléter les envois par la poste qui, pour la plupart des pays en développement, sont encore pratiquement le seul moyen de recevoir la documentation dont ils ont besoin pour leur développement dans le domaine de la science et de la technologie nucléaires.

# Les partenaires pour le développement: experts en Malaisie

*Des experts en mission au titre de projets de coopération technique de l'AIEA ont aidé la Malaisie à former ses cadres*

par Ainul Hayati  
Daud

Dès que la Malaisie est devenue membre de l'AIEA en 1969, elle a participé activement au programme de coopération technique. Ces 15 dernières années, elle a exécuté plus de 60 projets évalués à près de neuf millions de dollars sous forme de matériel, de services d'experts et de formation de boursiers.

Les services d'experts se sont avérés particulièrement profitables au cours des dernières années, mais la livraison de matériel et la formation ont aussi joué un rôle important. Depuis 1989, le pays est moins tributaire de la fourniture de matériel, car les installations et l'infrastructure de base nécessaires à l'exécution des projets se sont développées grâce à un financement assuré en majeure partie par le Gouvernement, de sorte que l'assistance demandée et reçue de l'AIEA a surtout consisté en formation et services d'experts.

Ces derniers sont intéressants à plusieurs égards. Les experts donnent des conseils techniques et proposent des orientations permettant aux pays de partager et d'adapter des idées et des techniques nouvelles et de renforcer leurs liens stratégiques avec les milieux internationaux de la science et de la technologie nucléaires. Un expert est toujours considéré comme un ami, un conseiller et un partenaire au service d'un développement pacifique dans ces domaines.

Nous parlerons ici des missions d'experts accueillies en Malaisie au titre du programme de coopération technique entre 1980 et 1995, en précisant la nature des services rendus, la durée des missions et les établissements qui en ont bénéficié. Il sera aussi question de la procédure de demande et d'exécution d'une mission ainsi que des plans et des objectifs de la Malaisie dans les domaines considérés.

Mme Daud est chef des relations extérieures de l'Institut de recherche en technologie nucléaire de Malaisie (MINT) et agent de liaison du MINT avec l'AIEA.

## La situation générale et son évolution

Entre 1980 et 1995, la Malaisie a reçu un total de 392 missions assurées par 273 experts de 48 pays qui ont apporté leur aide à plus de 20 établissements dans divers domaines de la science et de la technologie nucléaires.

**Domaines d'activité.** La science et la technologie nucléaires couvrent un large éventail de sujets et de compétences. La Malaisie s'est occupée plus spécialement des applications des techniques nucléaires en agriculture, dans l'industrie et en hydrologie, de la sûreté nucléaire et de la radioprotection.

Pendant ces 15 années, on compte 108 missions de 75 experts des techniques nucléaires en agriculture, 69 missions de 48 experts en industrie et en hydrologie (dont le développement industriel et, plus spécialement, l'analyse non destructive, la technologie des rayonnements et les études hydrologiques à l'aide d'indicateurs), et 46 missions de 33 experts des questions de sûreté en matière de radioprotection.

**Origine des experts.** Près des deux tiers des 273 experts venaient de pays industriels. L'Europe occidentale, en tête avec 89 experts pour 133 missions (34 %), était suivie par l'Amérique du Nord avec 75 experts pour 101 missions (26 %) et la région Asie et Pacifique avec 65 experts pour 91 missions (23 %).

Par pays d'origine, les experts se répartissaient entre les Etats-Unis (21 %), le Royaume-Uni (9 %), l'Allemagne (7 %), le Canada (5 %), l'Australie (4 %), l'Autriche (4 %), le Japon (4 %) et la France (3 %), et, parmi les pays en développement, entre l'Inde (4 %), la Hongrie (2 %) et la Pologne (2 %). Parallèlement, des scientifiques malaisiens ont participé à l'exécution de projets dans le pays et effectué 18 missions (5 %). Ils furent recrutés au titre du programme comme experts, instructeurs ou participants aux réunions de mise en forme du projet et de coordination de la recherche.



**Établissements d'accueil des experts.** Depuis 1980, plus de 20 établissements et des centaines de membres d'organismes d'Etat et privés ont profité directement ou indirectement des services d'experts de l'AIEA (établissements de recherche, organe régulateur, compagnie d'électricité, universités, comités de recherche). Un groupe de scientifiques de divers établissements spécialisés a été constitué pour exécuter un projet multidisciplinaire intégré.

Sur les 392 missions envoyées dans 20 établissements de Malaisie au cours des 15 dernières années, plus de la moitié (202) ont été reçues par des instituts de recherche, 80 (20 %) par des comités de recherche et 37 (9 %) par des universités. C'est le MINT — responsable de l'application et de la diffusion de la science et de la technologie nucléaires dans le pays — qui a accueilli le plus grand nombre de missions: 161 missions (41 %) de 112 experts.

**Durée des missions.** Elle est très variable selon la nature des travaux, les compétences requises et les spécialistes disponibles en Malaisie. La plupart des missions (près de 61 %) ont duré de deux à cinq semaines; environ 20 % étaient de l'ordre d'une semaine et 6 % de moins d'une semaine. Des missions de plus longue durée, de plusieurs mois à un peu plus d'un an, étaient consacrées pour la plupart à des éléments du projet comportant des expériences et travaux extérieurs à long terme tels que l'étude de produits, la prospection et l'extraction de matières premières nucléaires, l'étude de l'absorption des engrais et l'élevage d'insectes. Les missions de moins d'une semaine avaient pour objet les enquêtes préalables au projet, les réunions d'organisation, des exposés aux cours de formation et la participation à une réunion de coordination de la recherche.

Avec le temps, la durée moyenne des missions est passée de cinq semaines à trois, mais leur nombre a doublé, ce qui témoigne de l'autonomie technique croissante du pays, les experts extérieurs n'étant plus nécessaires que pour des tâches très spécialisées de courte durée.

Les missions des experts australiens (47 jours) et polonais (56 jours) étaient de longue durée, parce que leurs membres, d'ailleurs peu nombreux, se trouvaient disponibles pendant tout ce temps. En revanche, dans le cas des principaux pays d'origine — l'Allemagne, le Canada, les Etats-Unis et le Royaume-Uni — les missions ne duraient que de deux à quatre semaines, bien que les experts de ces pays fussent plus nombreux, car la plupart d'entre eux n'étaient disponibles que peu de temps et pour des travaux très spécialisés.

La comparaison du nombre et de la durée des missions dans chaque établissement est intéressante. Par exemple, le Service géologique de Perak n'a accueilli que 12 experts, mais pour 73 jours chacun, de même que le Service géologique de Sarawak, et cela parce que les opérations de prospection et d'extraction de matières premières comportent surtout les déplacements pour se rendre sur les lieux,

la collecte de données et les analyses qui exigent la présence de l'expert pendant plus longtemps.

### Le rôle du MINT

Le programme de coopération technique en Malaisie est administré par la Division de la politique, de la planification et des relations extérieures de l'Institut qui examine les demandes de services d'experts avant de les soumettre au Département de la coopération technique de l'AIEA en vue du recrutement par l'intermédiaire de l'attaché scientifique de Malaisie à Vienne. L'examen consiste à déterminer si la demande correspond aux objectifs du projet, y compris les dates et la durée proposées, les attributions de l'expert et la justification. Le recrutement proprement dit est fait par la Section des experts de l'AIEA.

Celle-ci adresse le curriculum vitae d'un expert valable à l'agent de liaison de Malaisie, pour approbation, lequel propose à l'AIEA les dates de la mission. On prend ensuite les dispositions nécessaires pour l'autorisation officielle, les visas éventuels, le logement, le transport et les attributions de l'expert. L'agent de liaison est alors invité à se mettre directement en rapport avec ce dernier pour mettre au point les détails techniques et son plan de travail. L'AIEA est informée des arrangements.

Lorsque le Bureau des relations extérieures reçoit confirmation de l'itinéraire de l'expert, il en informe l'agent de liaison et les derniers détails sont fixés. A l'arrivée de l'expert, on s'occupe de son transport et on lui remet une brochure d'information sur la Malaisie.

A l'issue de la mission, un rapport détaillé est adressé au Bureau des relations extérieures, contenant les recommandations qui doivent être évaluées par le MINT et par l'administrateur local du projet. Il est étudié et commenté, le cas échéant, et un exemplaire du texte révisé est soumis à l'AIEA. L'administrateur du projet prend note des recommandations, et des dispositions sont prises en conséquence. Le Bureau des relations extérieures surveille la mise en œuvre de ces recommandations et conserve les dossiers, fichiers et rapports concernant le déroulement de la mission.

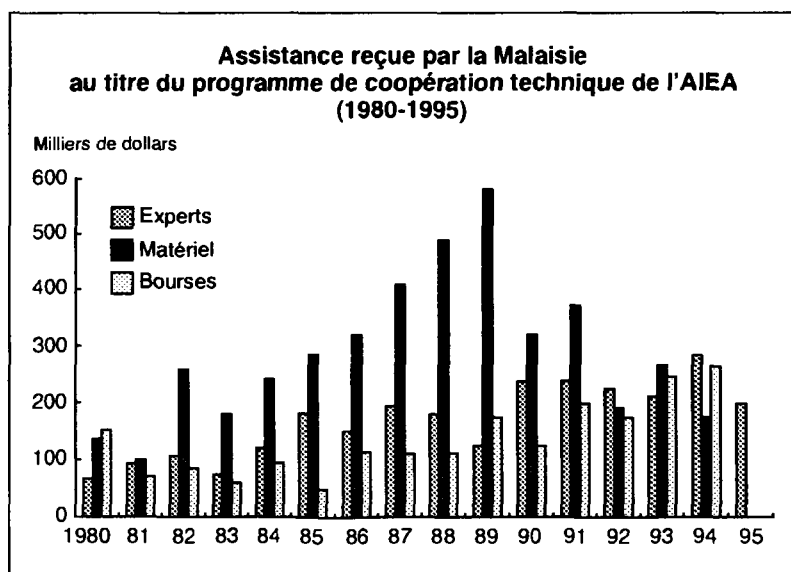
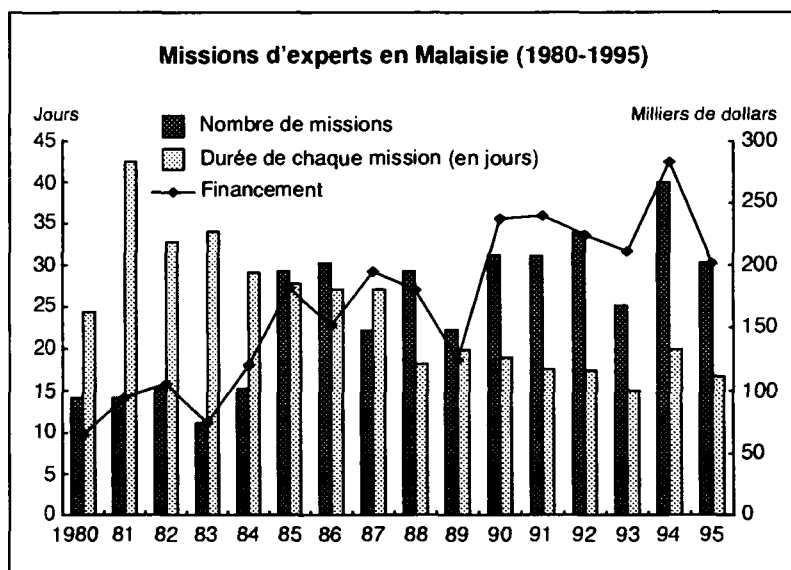
### L'avenir

A mesure que les applications des techniques nucléaires et associées se multiplient en Malaisie, les compétences du personnel spécialisé s'améliorent et s'étendent aux domaines suivants: direction de projets, essais non destructifs, radioprotection, études énergétiques, radio-immunoanalyse, agriculture, greffes et banques de tissus, techniques de radio-traitement, hydrologie, et technologies des indicateurs et des sources scellées.

**Etablissements, universités et organisations de Malaisie  
ayant bénéficié de services d'experts de l'AIEA, 1980-1995**

- Atomic Energy Licensing Board (AELB)
- General Hospital Kuala Lumpur (GHKL)
- Geological Survey Malaysia, Perak (GSMP)
- Geological Survey Malaysia, Sarawak (GSMS)
- Institute for Medical Research (IMR)
- Lembaga Letrik Negara (Utility-Tenaga National Berhad)
- Malaysian Agricultural Research and Development Institute (MARDI)
- Malaysian Institute for Nuclear Technology Research (MINT)
- Rubber Research Institute Malaysia (RRIM)
- Standard for Industrial Research Institute Malaysia (SIRIM)
- *Comités de recherche*: Research Committee for Marine (RCM); Research Committee for Mutation Breeding (RCMB); Research Committee for Sterile Insect Technique (RCSIT); Research Committee for Soil Science (RCSS); Research Committee for Tissue Graft (RCTG)
- University Kebangsaan Malaysia (UKM)
- University Malaya (UM)
- University Pertanian Malaysia (UPM)
- University Sains Malaysia (USM)

La Malaisie est désormais prête à participer au programme de services d'experts de l'AIEA et à aider d'autres pays à développer leurs techniques nucléaires et associées. Par ailleurs, elle s'attend à voir augmenter ses propres besoins de services d'experts au titre du programme de coopération technique, de pair avec le recours croissant du pays aux technologies nucléaires. Toutefois, comme l'expérience l'a montré, les missions devront être de courte durée et ciblées sur des tâches très spécialisées.





## Réunions du Conseil des gouverneurs de l'AIEA

À l'ordre du jour de la réunion du Conseil des gouverneurs de juin dernier figuraient entre autres le programme et budget de l'Agence, les activités de coopération technique et l'amélioration du rendement et de l'efficacité du système des garanties au titre du programme de développement dit «93+2».

Dans son discours d'ouverture, prononcé le 10 juin, le Directeur général de l'AIEA, M. Hans Blix, a abordé ces questions parmi d'autres.

**Programme et budget pour 1997.** Notant que le Comité du Conseil pour les questions administratives et budgétaires a jugé, en mai 1996, qu'il semblait y avoir une base solide pour l'approbation du budget de 1997 par le Conseil, M. Blix a brièvement exposé les mesures prises par le Secrétariat à la suite des observations faites par le Comité. Celui-ci avait prié le Secrétariat de revoir certaines de ses propositions budgétaires qui prévoyaient une augmentation de 1,9 million de dollars pour 1997, soit 0,9 % en valeur réelle, et de chercher à économiser sur les dépenses d'administration et d'appui.

**Assistance et coopération techniques.** Citant comme exemples le Costa Rica, la Tanzanie et d'autres pays, le Directeur général a dit que le concept de projets modèles qui oriente désormais les activités de coopération technique montre bien que les techniques nucléaires peuvent largement contribuer au développement social et économique. Il a ajouté que, dans le même temps, on continuait d'examiner la gestion de la coopération technique pour améliorer le rendement et l'efficacité. Bien que les contributions au Fonds de coopération technique demeurent inférieures au niveau atteint dans les années 80, la situation s'est redressée et il souhaite vivement que cette tendance persiste.

Passant à d'autres activités liées aux transferts de technologie, M. Blix parla de la préparation d'études technico-économiques sur le dessalement nucléaire et des applications des isotopes en hydrologie, notamment de deux projets régionaux de coopération technique, l'un en Afrique et l'autre au Moyen-Orient, intéressant 13 pays souffrant d'une grave pénurie d'eau.

**Garanties.** Faisant le point des propositions visant à renforcer le système des garanties de l'AIEA, M. Blix a déclaré que le moment était venu pour que les représentants des gouvernements

— experts en garanties, juristes et diplomates — examinent point par point les mesures proposées qui exigent un complément de pouvoirs juridiques. A cet égard, il a rappelé que l'on a recommandé de prendre des dispositions, éventuellement en créant un comité du Conseil, pour étudier et mettre définitivement au point le projet de protocole qui a été préparé. Au cours des dernières années, a dit encore M. Blix, le Conseil a soutenu l'effort qui a mené aux propositions. Cet élan ne doit pas être brisé, et M. Blix de rappeler que la finalité et l'avantage d'une meilleure vérification et d'une transparence accrue consistent à renforcer la confiance mutuelle des Etats — à l'échelon local, régional et mondial — et à faciliter le transfert de techniques, d'équipements et de matières nucléaires à des fins pacifiques.

Par ailleurs, M. Blix a rendu compte de l'application des garanties en République populaire démocratique de Corée (RPDC) où l'AIEA maintient des inspecteurs en permanence. Il a précisé que les prochains entretiens techniques entre l'AIEA et la RPDC étaient fixés à la fin juin et que l'Agence a proposé, pour sa part, qu'ils portent essentiellement sur la nécessité de prendre d'urgence des mesures pour protéger convenablement l'information pertinente sans laquelle elle ne sera plus en mesure de vérifier si la déclaration initiale de la RPDC est exacte et complète. Il faudrait aussi discuter la question de l'application des garanties dans le pays, notamment l'installation d'un dispositif de surveillance de l'Agence auprès des réservoirs de déchets nucléaires de l'usine de retraitement et le contrôle du gel des activités que prévoit l'arrangement conclu entre les Etats-Unis et la Corée du Nord.

**Sûreté nucléaire.** L'entrée en vigueur de la convention sur la sûreté nucléaire approche, a rappelé M. Blix, et l'Agence a fait d'importants préparatifs pour sa mise en œuvre, notamment en élaborant, avec des représentants d'Etats Membres, des procédures et des directives concernant l'examen de la convention par des homologues. Le projet de convention sur la sûreté de la gestion des déchets radioactifs est en bonne voie, a-t-il ajouté, et pourrait être prêt pour la fin de l'année ou le début de l'an prochain.

Un compte rendu des travaux de la réunion de juin du Conseil paraîtra dans le prochain numéro du *Bulletin de l'AIEA*.

Une conférence internationale réunie à Vienne du 8 au 12 avril dernier a résumé l'opinion des scientifiques sur les principales conséquences sociales, sanitaires et écologiques imputées à l'accident de Tchernobyl survenu en Ukraine il y a dix ans. Plus de 800 scientifiques et officiels des domaines de l'énergie nucléaire, de la sûreté radiologique et de la santé ont assisté à cette conférence parrainée par l'AIEA, la Commission européenne (CE) et l'Organisation mondiale de la santé (OMS). Parmi les participants se trouvaient de hautes personnalités représentant les trois pays les plus gravement touchés par l'accident — le Bélarus, la Fédération de Russie et l'Ukraine — ainsi que des délégués de plus de 70 autres pays et organisations intergouvernementales. La conférence a étudié de près les nombreuses questions scientifiques, médicales, écologiques, sociales et politiques qui interviennent dans l'évaluation de l'impact de Tchernobyl, en tenant compte des grands changements survenus au cours des dix dernières années dans les pays de l'ex-Union soviétique.

Mme Angela Merkel, ministre allemand de l'environnement et présidente de la conférence, a rappelé que les dimensions de l'accident nucléaire de Tchernobyl allaient bien au-delà du domaine de la sûreté nucléaire et de la radioprotection, car les effets concrets du désastre ont des incidences sociales et économiques peut-être beaucoup plus graves que la seule exposition aux rayonnements.

La conférence ne comptait pas réaliser un consensus scientifique sur toutes les questions, mais elle s'est proposée de considérer objectivement les conséquences de l'accident, et ses résultats peuvent servir à fonder les décisions qu'appellent les activités et la collaboration futures.

Voici l'essentiel des débats sur les principaux sujets:

**Les premières victimes.** L'explosion du 26 avril 1986 et les premiers rejets de radioactivité ont entraîné la mort de 28 personnes par irradiation et de trois autres pour diverses raisons — ces victimes appartenaient au personnel de la centrale, au corps des pompiers et aux équipes d'intervention (les liquidateurs) qui furent les premiers à réagir à l'accident — et 134 patients ont présenté le syndrome d'irradiation aiguë. Depuis lors, 14 autres personnes sont décédées, dont quel-

ques-unes seulement pour cause présumée de radioexposition.

**Incidence du cancer de la thyroïde.** Le nombre de cas a considérablement augmenté au Bélarus, en Ukraine et dans certaines régions de Russie, en particulier parmi les jeunes enfants, et ils ont été généralement attribués à une exposition au radioiode pendant les premières phases de l'accident. A la fin de 1995, environ 800 cas (dont 400 au Bélarus) avaient été signalés; les enfants étaient tous âgés de moins de 15 ans au moment du diagnostic. Depuis avril dernier, trois enfants sont morts de cancer de la thyroïde. Au cours des prochaines décennies, il est très probable que l'incidence de ce cancer augmentera parmi les personnes qui étaient enfants en 1986, mais il est difficile de la chiffrer à cause de la grande imprécision des estimations de doses. Le groupe à risque devrait être suivi en permanence car la guérison est à peu près certaine dans la plupart des cas diagnostiqués dès le début.

**Effets pathogènes à long terme de l'irradiation.** A part l'augmentation des cancers de la thyroïde, une fréquence accrue de tumeurs malignes spécifiques a été signalée à plusieurs reprises parmi certaines populations vivant dans des zones contaminées et parmi les liquidateurs. Ces informations ne sont cependant pas cohérentes et seraient à vérifier. A l'aide de modèles prospectifs, on a calculé que le nombre de cancers mortels dus à l'accident parmi les 7,1 millions de résidents des territoires contaminés et des zones strictement contrôlés serait de l'ordre de 6 600 pour les 85 prochaines années, contre 870 000 décès pour cause de cancer spontané. En principe, il n'y aurait que quelques cas mortels de leucémie radio-induite. Les excédents de décès dus à cette affection seraient de l'ordre de 470; il serait d'ailleurs impossible de les distinguer des 25 000 cas spontanés. Parmi les 200 000 liquidateurs qui sont intervenus en 1986-1987, on s'attend à un total de 200 cas mortels contre une incidence spontanée de 800.

**Autres facteurs pathogènes.** De nombreuses modifications de l'état de santé ont été constatées parmi la population exposée, qui ne résultent cependant pas d'une radioexposition. Certains troubles et symptômes assez graves tels que

**Une conférence internationale sur Tchernobyl s'est réunie à Vienne**



l'anxiété, la dépression et diverses manifestations psychosomatiques sont attribuables à la tension nerveuse qui règne parmi la population de la région. Ils sont très fréquents et pourraient fort bien être la plus importante séquelle de l'accident. L'effet psychologique ne saurait être entièrement dissocié de celui du démantèlement de l'Union soviétique; toute prévision devrait donc tenir compte de la situation économique, sociale et politique qui règne dans les trois pays.

**Conséquences écologiques.** On n'a constaté aucun effet spectaculaire à long terme sur les populations ou les écosystèmes. Des mesures énergiques peuvent être prises en certains points pour réduire sensiblement la contamination des aliments par le radiocésium. D'une façon générale, la contamination radioactive des produits des fermes collectives n'excède pas les limites internationales, mais tel n'est pas le cas pour ceux des fermes privées, ni pour les champignons, le gibier et autres denrées de la flore et de la faune naturelles.

**Révision de la sûreté nucléaire.** Les causes techniques de l'accident de Tchernobyl sont bien connues et le degré de sûreté des 15 réacteurs RBMK en service en Lituanie, en Russie et en Ukraine a été relevé de sorte qu'il est pratiquement impossible que le même genre d'accident se reproduise. Il faut cependant améliorer encore la sûreté de ce type de réacteur et prendre des mesures pour consolider le sarcophage qui confine le réacteur détruit. Les problèmes de sûreté des RBMK ont été étudiés par un forum international réuni à Vienne en avril dernier, dont les résultats ont été communiqués à la conférence sur Tchernobyl qui a suivi.

Celle-ci comportait une série de séances où des experts ont examiné les résultats des travaux réalisés jusqu'alors, notamment les conclusions de deux conférences internationales importantes, l'une réunie par l'OMS en novembre 1995 et l'autre organisée sous les auspices de la CE en mars de cette

année, à Minsk. Les discours d'ouverture ont été prononcés par le Directeur général de l'AIEA, M. Hiroshi Nakajima, directeur général de l'OMS, M. H. Tent, directeur général pour la science, la recherche et le développement, de la CE, et M. Griffiths, directeur du Département des affaires humanitaires des Nations Unies. Des exposés de la situation dans leur pays ont été faits par Alyksandr Lukashenko, président du Bélarus, A. Shoigu, ministre russe des secours, et Yevgeni Marchuk, premier ministre d'Ukraine. Les résultats des principaux projets bilatéraux d'assistance après Tchernobyl, organisés avec le Bélarus, la Russie et l'Ukraine, ont été précisés par les représentants de diverses organisations: l'Agence pour l'énergie nucléaire de l'Organisation de coopération et de développement économiques (AEN/OCDE), l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), l'Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture (UNESCO), le Comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants (UNSCEAR); et d'autres organisations d'Allemagne, des Etats-Unis et du Japon.

Un colloque technique a consacré huit séances spéciales à diverses questions d'ordre social, sanitaire et écologique: les effets cliniques apparents; les effets sur la thyroïde; les effets pathogènes à long terme; autres effets sur la santé, y compris les effets psychologiques, la tension nerveuse et l'anxiété; l'impact écologique, social, économique, institutionnel et politique; les mesures correctives de sûreté et les autres conséquences à prévoir pour l'avenir. Une table ronde s'est occupée de la perception de l'accident de Tchernobyl par le public.

Les comptes rendus de la Conférence seront publiés par l'AIEA et l'on trouvera dans le prochain numéro du *Bulletin* un exposé des résultats les plus importants. Une synthèse est également accessible par le service World Atom de l'AIEA, sur Internet (adresse: <http://www.iaea.or.at/worldatom/thisweek/preview/chernobyl>).

**Les agronomes de Selbersdorf mettent au point de nouvelles techniques**

Des scientifiques de l'Agence s'occupent activement de perfectionner les méthodes nouvelles appliquées par les pays en développement pour améliorer leur production agricole.

Les légumineuses, telles que le soja ou le haricot commun, sont une source importante de protéines pour l'homme et l'animal dans les pays en développement. Certaines bactéries utiles

(*Rhizobium* ou *Bradyrhizobium*), que l'on trouve dans les nodules des racines de ces végétaux, «fixent» l'azote atmosphérique et mettent cet indispensable nutriment à la disposition de la plante. Cette propriété joue un grand rôle dans une production agricole que l'on veut durable, car elle permet de réduire considérablement les apports d'engrais azotés et la pollution qui en résulte, et dans les cultures intercalaires et mixtes, car l'azote fixé profite aux cultures successives ou parallèles, entretenant ainsi la fertilité du sol.

Le groupe de pédologie du Laboratoire FAO/AIEA d'agronomie et de biotechnologie, à Seibersdorf, a mis au point des méthodes à base de l'isotope stable azote 15 pour quantifier cette fixation afin de pouvoir choisir les souches de bactéries les plus actives pour inoculer les sols. Comme ceux-ci contiennent souvent des souches natives agressives qui ne fixent que de petites quantités d'azote, les bactéries inoculées doivent être non seulement efficaces, mais encore compétitives. Le groupe vient de mettre au point deux nouvelles techniques de biologie moléculaire, *gusA* et *celB*, consistant à marquer les gènes avec des indicateurs

qui colorent les bactéries en bleu ou en rouge, respectivement, ce qui permet de les identifier facilement. Cela est essentiel pour choisir des souches compétitives et résistantes. L'opération se fait selon les méthodes microbiologiques classiques, avec un matériel simple.

Pour que la méthode soit utilisable dans les pays en développement, le groupe a réalisé une trousse de marquage génique GUS à l'intention des microbiologistes et des agronomes qui ne connaissent pas bien la méthode et souhaitent néanmoins l'appliquer dans leur pays, même sans avoir les moyens d'équiper leurs laboratoires. Jusqu'à présent, des trousse ont été livrées à 24 équipes scientifiques qui participent à des programmes de recherche coordonnée ou à des projets de coopération technique FAO/AIEA.

L'étude de nouvelles méthodes de biologie moléculaire et leur transfert aux pays du tiers monde faciliteront le recours à des systèmes «organiques» à l'appui de pratiques agricoles durables. Ils permettront en outre aux spécialistes de mieux connaître les multiples bactéries présentes dans leurs sols et inutilisées jusqu'à présent.

**D**ans le monde, 437 réacteurs électrogènes d'une puissance totale de 344 442 mégawatts électriques (MWe) sont en exploitation et 39 unités totalisant 32 594 MWe sont en construction (voir la rubrique *Statistiques internationales*). Selon le système de documentation sur les réacteurs de puissance, quatre nouvelles centrales nucléaires ont été raccordées au réseau en 1995, respectivement en Corée (République de), en Inde, au Royaume-Uni et en Ukraine, tandis que deux réacteurs, Wuergassen en Allemagne et Bruce-2 au Canada, ont été mis à l'arrêt.

Selon les statistiques de l'AIEA, la puissance installée mondiale se situera entre 361 000 et 368 000 MWe en l'an 2000. Comme tous les réacteurs qui seront mis en service vers cette date sont déjà en chantier, la fourchette des prévisions tient compte des retards éventuels au niveau de la construction et de l'obtention des permis.

Pour le début du siècle prochain, les prévisions sont encore moins précises car divers facteurs d'ordre technique, économique, écologique et poli-

tique entrent en jeu. Les valeurs minimales et maximales correspondent à des hypothèses différentes mais non extrêmes quant à l'influence de ces facteurs sur l'équipement nucléo-énergétique.

Le chiffre minimal suppose que les obstacles actuels au développement nucléo-énergétique persisteront dans la plupart des pays au cours des vingt prochaines années. Les taux de croissance de l'économie et de la demande d'électricité restent faibles dans les pays industriels. L'opposition du public au nucléaire se maintient et les préoccupations écologiques dues notamment au risque de changement du climat mondial n'ont pas assez de poids pour influencer sur les politiques énergétiques visant à substituer le nucléaire aux combustibles fossiles. Les problèmes institutionnels et financiers bloquent ou freinent la mise en œuvre des programmes prévus, notamment dans les pays en période de transition et en développement. Malgré ces hypothèses assez pessimistes, la plupart des réacteurs en chantier seront achevés, mais de nouvelles unités ne seront guère commandées que dans les pays où la part du

**Energie  
d'origine nucléaire:  
situation  
et tendances**



nucléaire dans la production d'électricité est importante, comme en Corée (République de), en France et au Japon. Etant donné que bon nombre de réacteurs seront mis à l'arrêt à la fin de leur durée utile prévue, la puissance installée nucléaire mondiale commencera à décroître après 2010 et sera, en 2015, à peine supérieure à ce qu'elle était en l'an 2000, c'est-à-dire quelque 375 gigawatts électriques (GWe). La part du nucléaire, actuellement de 17 %, ne sera plus guère que de 12 % en 2015.

La valeur forte suppose une reprise modérée de l'équipement nucléo-énergétique qui résulterait

notamment d'une évaluation comparative globale des diverses options de production d'électricité intégrant les facteurs économiques, sociaux, sanitaires et environnementaux. Cette hypothèse implique des directives visant à faciliter l'exécution des programmes d'énergie nucléaire, par exemple l'intensification de la coopération internationale, une meilleure adaptation et un transfert plus actif de la technologie, et la création de mécanismes novateurs de financement. Dans ce cas, la puissance nucléaire installée mondiale atteindrait quelque 535 GWe en 2015 et la part du nucléaire serait d'environ 14 %.

## **L'AEN et l'AIEA organisent un examen international de la sûreté de la WIPP**

Le Département de l'énergie des Etats-Unis (DOE), l'AEN/OCDE et l'AIEA sont convenus à Paris d'organiser un examen international, par des homologues, de l'analyse de la sûreté à long terme de la Waste Isolation Pilot Plant (WIPP), installation pilote prévue aux Etats-Unis pour recevoir et isoler des déchets radioactifs de longue période.

Cet examen, demandé par le Bureau de Carlsbad du DOE, sera organisé par l'AEN et l'AIEA dans le cadre des services offerts par ces deux agences à leurs Etats Membres pour gérer les déchets radioactifs. La WIPP est conçue pour éliminer définitivement les déchets radioactifs transuraniens des activités liées à la défense. Ces déchets consistent essentiellement en vêtements, outils, chiffons et autres articles contaminés, en particulier par le plutonium. Située dans l'Etat du Nouveau-Mexique, à 42 km à l'est de Carlsbad, l'installation comporte des espaces de stockage creusés dans une formation de sel gemme à plus de 650 m de profondeur.

Comme dans la plupart des pays qui exécutent des programmes nucléaires, la méthode utilisée de préférence pour éliminer les déchets radioactifs de longue période contenant notamment des transuraniens consiste à isoler ces déchets pour de longues périodes dans des systèmes à barrières multiples aménagés dans des formations géologiques profondes et stables. Le choix du site et la construction de la WIPP sont conformes aux critères fixés par l'Agence pour la protection de l'environnement (EPA), organisme chargé de réglementer l'évacuation à long terme des déchets

contenant des transuraniens. A cette fin, le DOE doit présenter à l'EPA une demande formelle d'homologation qui implique une évaluation de la sûreté à long terme de ce dépôt après sa fermeture.

L'examen AEN/AIEA a pour objet de déterminer si cette évaluation est correcte, techniquement fondée et conforme aux normes et pratiques internationales. Pour ce faire, l'AEN et l'AIEA vont former un secrétariat commun et constituer une équipe d'experts internationaux indépendants dans les diverses disciplines intervenant dans les évaluations de la sûreté à long terme — géologie, géochimie, science des matériaux, protection radiologique et environnementale, et sûreté nucléaire. Des représentants de services de réglementation nucléaire, d'organismes de gestion des déchets radioactifs, d'universités et d'établissements de recherche feront partie du groupe.

L'examen commencera en octobre prochain et durera six mois; il se fondera sur une documentation détaillée fournie par le DOE et comportera des entretiens avec les spécialistes du projet à l'occasion d'une visite sur place. Un rapport contenant les conclusions de l'équipe internationale sera présenté au DOE. L'examen permet de tirer profit de l'expérience des experts mondiaux de haut niveau et de tenir compte des méthodes appliquées par d'autres pays industriels dans le domaine considéré. Il s'accorde avec l'objectif commun de l'AEN et de l'AIEA qui est d'encourager l'adoption de politiques et de pratiques de sûreté pour l'élimination des déchets radioactifs dans leurs pays membres respectifs.

## Colloque international sur l'expérience de la planification et de l'exploitation des installations d'évacuation des déchets de faible activité, 17-21 juin 1996.

La plupart des pays ont à gérer des déchets de faible activité (DFA) résultant des opérations du cycle du combustible nucléaire et de l'application des radionucléides en médecine, à la recherche et dans l'industrie. Certains d'entre eux ont une longue et riche expérience dans ce domaine. Il se trouve même que quelques dépôts parvenus au terme de leur durée utile ont été fermés, ce qui explique l'expérience acquise de cette opération et de la situation qui en résulte. Cela dit, d'autres pays n'en sont encore qu'au choix des sites et à l'homologation de leurs premiers dépôts.

Le colloque a réuni des experts à la fois de pays expérimentés en la matière et de pays où la gestion et l'élimination de DFA ne font que débiter. Les débats ont porté sur les questions d'organisation (réglementation, planification, homologation et relevé des stocks); le choix des sites (critères et méthodes — considérations socio-économiques, étude et évaluation des sites); la conception (critères et méthodes, comportement des barrières artificielles, plan du dépôt); la construction; l'exploitation (mise en service, acceptation et mise en place des déchets, contrôle des opérations, surveillance); la fermeture (critères et méthodes, systèmes d'isolement et leur comportement); les dispositions à prendre après la fermeture (questions de contrôle institutionnel, surveillance et mesures correctives, relevés à long terme); l'évaluation de la sûreté (méthodologie, examen d'études de cas); l'assurance de la qualité; la recherche-développement; et la coopération internationale et régionale. Le compte rendu du colloque est en cours de publication par l'AIEA.

## Colloque international FAO/AIEA sur le recours aux techniques nucléaires et aux techniques apparentées pour l'étude du comportement dans l'environnement des produits chimiques servant à la protection des cultures, 1er-5 juillet 1996.

Les pesticides sont indissociables de l'agriculture dans le monde entier et, de l'avis général, ils le resteront dans l'avenir prévisible si l'on veut accroître la production de denrées alimentaires de qualité acceptable.

Les pesticides ont toutefois leurs bons et leurs mauvais côtés. Sur le plan écologique, il faut d'abord, pour faire homologuer un produit, présenter une documentation prouvant qu'il peut être utilisé sans risque inacceptable pour les organismes non visés, puis surveiller et étudier son comportement et ses effets dans l'environnement pour s'assurer qu'ils sont conformes aux prévisions.

C'est en grande partie grâce aux radio-isotopes et à d'autres méthodes nucléaires ou assimilées que l'on peut étudier le comportement et les effets des pesticides dans divers compartiments de l'environnement (le sol, l'eau et l'air) et dans les écosystèmes marins et terrestres (agricoles ou non).

Pour diverses raisons, les pays en développement doivent souvent s'en remettre à une information venant de l'extérieur pour juger si un composé est acceptable, en particulier s'il n'est pas breveté. Le colloque a étudié les circonstances dans lesquelles l'extrapolation d'un environnement à un autre est valable si l'on dispose de données comparables et les moyens d'utiliser des méthodes relativement simples pour s'assurer que les résultats d'une expérimentation complexe sont applicables au champ. Le compte rendu du colloque est en cours de publication par l'AIEA.

## Récents colloques de l'AIEA

Les dirigeants des pays du Groupe des sept (G-7) et de la Fédération de Russie ont mis en vedette diverses activités de l'Agence dans des domaines clefs du développement nucléaire, lors d'un sommet réuni à Moscou par le président Yeltsine les 19 et 20 avril derniers.

En particulier, les documents officiels publiés à l'issue de la réunion appuient énergiquement le régime d'inspection de l'Agence au titre des

garanties, dont le rôle est décisif contre le détournement de matières nucléaires, recommandent de hâter le renforcement du régime des garanties et invitent les Etats à assurer un financement suffisant à cette fin.

L'AIEA a noté l'intention déclarée de la Fédération de Russie de soumettre à ses inspections les matières nucléaires sensibles en excédent des nécessités de l'armement, ce qui abonde dans

## Réunion au sommet sur la sûreté et la sécurité nucléaires



le sens de l'initiative déjà prise par les Etats-Unis. Cela aurait d'ailleurs pour effet, à la longue, d'alourdir sensiblement la tâche de l'Agence.

En ce qui concerne la «gestion sûre et efficace des matières fissiles militaires identifiées comme n'étant plus nécessaires pour répondre à des besoins de «défense», le sommet a fait part de son intention de réunir, de préférence vers la fin de cette année, un groupe international d'experts chargé d'examiner les diverses options et la possibilité de développer la coopération internationale pour la mise en œuvre des stratégies nationales. L'AIEA estime que cette réunion compléterait utilement le colloque sur les stratégies relatives au cycle du combustible et aux réacteurs qu'elle envisage d'organiser en 1997.

Le sommet a abordé la question du régime de responsabilité qui doit garantir une juste compensation des dommages causés par les accidents nucléaires. Les participants ont souhaité des progrès dans ce domaine, afin de donner une nouvelle impulsion aux travaux en cours à l'AIEA.

La protection physique des matières nucléaires est un sujet d'une importance croissante dont le sommet s'est entretenu. Le G-7 a encouragé tous les Etats à ratifier la convention pertinente et à appliquer les recommandations formulées par l'AIEA à cet égard. Le secrétariat de l'Agence fait tout ce qu'il peut, dans les limites de ses ressources, pour assister les Etats Membres qui le souhaitent.

Le sommet a instamment invité les Etats à accorder leur plein appui aux conventions internationales sur la sûreté parrainées par l'AIEA. En particulier, il les a priés de signer la convention sur la sûreté nucléaire afin qu'elle puisse entrer en vigueur, et a demandé que l'on mette la dernière main à la convention sur la sûreté de la gestion des déchets radioactifs préparée sous les auspices de l'AIEA, et qu'on l'adopte sans tarder. Le texte de la déclaration du sommet de Moscou sur la sûreté et la sécurité nucléaires fait l'objet d'une circulaire d'information de l'AIEA (INFCIRC/509).

## Uranium 1995: le «Livre rouge»

L'AIEA et l'AEN/OCDE ont publié conjointement la dernière édition du «Livre rouge» (mise à jour de l'édition de 1993) intitulée *Uranium 1995 — Ressources, production et demande*. Cet important ouvrage de référence décrit la situation de l'offre et de la demande d'uranium dans le monde en 1995, et présente le profil statistique de l'industrie mondiale de l'uranium à partir du 1er janvier de la même année. Il donne des renseignements sur les activités de prospection, les ressources et la production d'uranium de 54 pays, ainsi que sur plusieurs pays pour lesquels il était auparavant difficile d'en obtenir, et contient des exposés sur 23 des 25 pays producteurs d'uranium qui assuraient environ 92 % de la production mondiale en 1994.

Le marché mondial de l'uranium s'est radicalement modifié dans les années 90 en fonction des événements politiques et économiques survenus dans les pays producteurs et consommateurs. La surproduction des années 80 a abouti en dix ans à une situation ambiguë où l'offre couvre moins de 60 % de la demande.

Dans le même temps, le niveau des prix est resté bas, car de nouvelles sources promettent une

offre abondante et stable. Tandis que la puissance installée nucléaire et sa demande de combustibles nucléaires continuent d'augmenter modestement, les stocks d'uranium diminuent et la production s'est ralentie dans la plupart des régions. Toutefois, l'augmentation constante des prix de l'uranium au comptant depuis la fin de 1994 donne à penser que la situation est peut-être en train de changer.

Le «Livre rouge» précise que sept pays détiennent presque 90 % des ressources d'uranium récupérables dans le monde. Il indique pour chaque pays le poids en tonnes de l'oxyde d'uranium ( $U_3O_8$ ) qui est «raisonnablement assuré», auquel s'ajoutent les ressources complémentaires estimées. L'Australie en détient 29 %, le Kazakhstan 19 %, le Canada 11 %, l'Afrique du Sud et la Namibie 9 % chacune, le Brésil 8 % et les Etats-Unis 4 %.

Pour plus de renseignements, s'adresser à l'AIEA, Division du cycle du combustible nucléaire et de la gestion des déchets. L'ouvrage est en vente à l'OCDE, 2 rue André-Pascal, 75775 Paris Cedex 16 France.

## Chili: la MMF exterminée

Le succès de la campagne d'éradication de la mouche méditerranéenne des fruits (MMF) grâce à la technique de l'insecte stérile (TIS), méthode fondée sur la radiostérilisation des mâles, promet à l'agriculture fruitière du Chili un accès à de nouveaux marchés d'exportation. Le gain économique qui en résultera pour le commerce international du pays est évalué par les autorités à près de 500 millions de dollars par an pour les cinq prochaines années.

Dans les zones infestées, l'insecte détruit plusieurs millions de dollars de fruits frais chaque année et nuit ainsi, à cause des quarantaines, aux exportations de cette denrée qui se chiffrent

en milliards de dollars. Le sud et le centre du pays étaient déjà libérés du fléau, mais leur production fruitière n'était toujours pas acceptée sur certains marchés internationaux par crainte d'une réinfestation venant du nord.

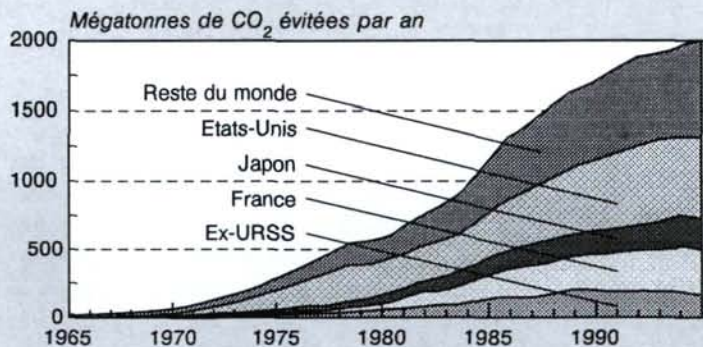
La campagne a eu raison de la mouche après une dizaine d'années de vains efforts pour la détruire dans cette région à l'aide d'insecticides. La TIS consiste à élever l'insecte mâle en masse dans des installations spécialement conçues et à le stériliser par irradiation à faibles doses pour le lâcher ensuite dans la population naturelle où il s'accouple, mais sans donner de progéniture.

La campagne était assistée par la Division mixte FAO/AIEA et par le Département de la coopération technique de l'AIEA, en collaboration avec

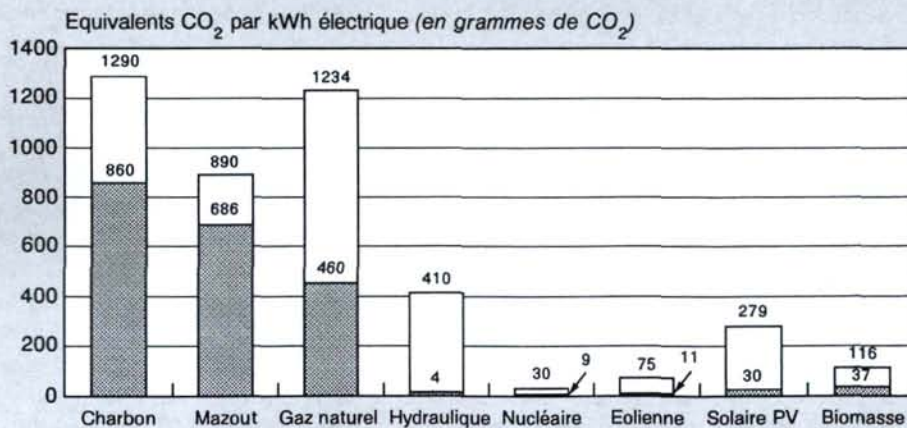
## Errata

*Bulletin de l'AIEA*, vol.37, n° 4, article intitulé «L'énergie nucléaire et le débat écologique: le contexte des choix»; les rectifications apportées aux deux graphiques reproduits ici sont indiquées en italique. La rédaction prie le lecteur de l'excuser de ces erreurs.

## Dioxyde de carbone mondial épargné grâce à l'énergie nucléaire et hydraulique



## Facteurs d'émissions d'équivalent CO<sub>2</sub> des différentes sources d'énergie (chaîne énergétique complète)





le Service agronomique du Chili. L'Agence a contribué à la planification du projet, à la réalisation de l'installation d'élevage en masse et de stérilisation de la vallée d'Arica-Lluta, et à la formation des techniciens du projet, fourni des services d'experts et du matériel spécialisé, et administré les fonds en dépôt réservés au projet. L'installation d'élevage en masse conçue pour produire environ 60 millions de mouches stériles par semaine était terminée en 1993 et les lâchers ont commencé. Aucune MMF n'a été détectée au Chili depuis le début de 1995, ce qui couronne les efforts incessants du pays, depuis 32 ans, pour détruire cet insecte apparu pour la première fois en 1963.

Le Gouvernement chilien a annoncé officiellement le succès de la campagne lors d'une cérémonie organisée en décembre 1995 et présidée par l'ancien président du Chili, à laquelle assistaient le ministre de l'agriculture et des dignitaires étrangers.

## **Mali: coup d'envoi pour une campagne TIS**

Le Gouvernement malien a organisé du 27 au 31 mai dernier une table ronde avec ses partenaires de développement en vue de coordonner une approche intégrée pour résoudre les problèmes de la mouche tsé-tsé et de la trypanosomiase. Les organismes d'assistance d'Allemagne, des Etats-Unis et de France qui ont patronné un projet de développement de l'élevage dans la région étaient représentés à cette réunion.

Dans la plus grande partie de l'Afrique, l'élevage est entravé par la présence de la mouche tsé-tsé qui transmet la nagana, variante de la maladie du sommeil. Dans les environs de Bamako, les taux d'infection atteignent 45 %.

Comme nous l'indiquons dans l'encart, cette table ronde a envisagé de lancer dans toute la région une campagne classique à l'aide de pièges, d'écrans et d'insecticides, en collaboration avec les habitants, pour réduire au minimum la population de mouches tsé-tsé dans un secteur d'environ 2 000 km<sup>2</sup>, condition préalable à l'application éventuelle de la TIS. Le gouvernement a promis de faire une étude socio-économique pour déterminer l'étendue du problème de la trypanosomiase. Se fondant sur ces prémisses encourageantes, l'AIEA aborde l'étude technico-économique de divers aspects de la campagne TIS.

## **Liban: ratification de la convention sur la sûreté**

Après 20 autres pays qui ont ratifié, accepté ou approuvé la convention sur la sûreté nucléaire, le Liban a déposé, quant à lui, son instrument de ratification le 5 juin dernier. Cette formalité rapproche la convention de son entrée en vigueur qui aura lieu trois mois après le dépôt de 22 instruments de ratification, d'acceptation ou d'approbation, y compris ceux de 17 Etats possédant chacun au moins une installation nucléaire avec un réacteur ayant atteint la criticité.

Cette convention, sous les auspices de l'AIEA, a été adoptée à Vienne le 17 juin 1994. Elle engage les parties qui exploitent des centrales nucléaires terrestres à maintenir un haut niveau de sûreté en fixant des critères internationaux de référence que les Etats devront respecter. Elle comporte un élément nouveau: les parties sont tenues de présenter des rapports sur l'exécution de leurs obligations en vertu de la convention, aux fins d'examen périodiques par des homologues.

## **Dominique et Saint-Kitts-et-Nevis: accords de garanties**

Les accords de garanties conclus entre l'AIEA et le Commonwealth de la Dominique d'une part, et entre l'AIEA et Saint-Kitts-et-Nevis d'autre part sont entrés en vigueur les 3 et 7 mai 1996, respectivement.

Les deux accords concernent les obligations contractées par ces Etats en vertu du TNP.

## **Egypte: zone dénucléarisée en Afrique**

Lors de la conférence pour la signature du Traité sur une zone exempte d'armes nucléaires en Afrique, réunie au Caire le 11 avril 1996, le Directeur général de l'AIEA a félicité les pays du continent pour leurs efforts inlassables en faveur du contrôle des armes nucléaires et du désarmement.

Il a fait observer que le Traité (également dénommé Traité de Pelindaba) va plus loin que le TNP, dont sont parties 51 pays de l'Organisation de l'unité africaine (OUA). Le Traité interdit, à la différence du TNP, l'entreposage et l'essai de tout engin nucléaire explosif sur le territoire des parties, par ailleurs tenues d'appliquer les nor-



mes les plus strictes de sécurité et de protection physique des matières, installations et matériel nucléaires pour en empêcher le vol ou l'usage non autorisé, ainsi que les attaques armées contre les installations nucléaires de la zone et la décharge de déchets radioactifs.

En vertu du Traité, l'AIEA est chargée de vérifier, par l'intermédiaire de son système de garanties et conformément à la procédure de réclamation prévue par le Traité, que les parties respectent leur engagement de n'exploiter l'énergie nucléaire qu'à des fins exclusivement pacifiques. M. Blix a rappelé que l'Agence applique actuellement des garanties à 26 installations nucléaires de cinq pays d'Afrique parties au TNP (Afrique du Sud, Egypte, Ghana, Jamahiriya arabe libyenne et Zaïre) et en Algérie en vertu d'accords concernant des installations particulières. Un accord de garanties conclu avec l'Algérie en rapport avec son adhésion au TNP vient d'être signé et doit entrer en vigueur prochainement.

Les représentants de 43 Etats africains assistaient à la cérémonie de signature du Traité de Pelindaba. Le texte du discours du Directeur général est accessible par le service World Atom de l'AIEA, sur Internet (adresse: <http://www.iaea.or.at/worldatom>).

## **Tanzanie: lutte contre la mouche tsé-tsé**

Une nouvelle couveuse a été inaugurée au Centre d'élevage en masse de l'Institut de recherche sur la mouche tsé-tsé et la trypanosomiase (IRTT) de Tanga. Avec d'autres dispositifs analogues remis en état et le nouveau matériel fourni par l'AIEA grâce à l'appui de généreux donateurs, elle servira à la campagne de destruction de la mouche tsé-tsé sur l'île de Zanzibar à l'aide de la TIS.

Lors de la cérémonie, le Directeur général de l'AIEA a souligné les progrès remarquables du projet à Tanga et sur Unguja; d'autres pays africains intéressés souhaitent en savoir davantage. Pour les projets analogues de la région, il se peut fort bien que l'IRTT soit l'un des fournisseurs de mouches et devienne même le principal centre de formation de techniciens et de scientifiques.

## **Suède: perspectives du nucléaire**

Lors de la Conférence sur les techniques de transmutation basées sur accélérateurs et leurs appli-

cations, organisée en collaboration avec l'Agence à Kalmar en juin dernier, le Directeur général de l'AIEA a parlé du rôle effectif et potentiel du nucléaire comme source d'énergie, dans le contexte des problèmes d'environnement, de gestion des déchets, de non-prolifération, d'opinion publique et de sûreté.

L'exploitation de l'énergie nucléaire exige une technologie hors pair, a dit encore M. Blix, mais celle-ci sera, dans l'avenir prévisible, la plus apte à satisfaire nos besoins avec un minimum d'émissions de gaz à effet de serre. Son expansion, même spectaculaire, ne pourrait, à elle seule, réduire l'effet de serre dans la mesure que nous souhaitons, mais elle pourrait beaucoup y contribuer.

Rappelant que le nucléaire a stagné dans de nombreux pays, tout en se développant modestement dans d'autres, M. Blix a souligné que toutes les sources d'électricité seront nécessaires, dans les années qui viennent, pour satisfaire la demande mondiale croissante. A ce propos, il a mis en garde contre un recours exagéré au charbon, au pétrole et au gaz qui ont actuellement la vedette, ou contre les énergies renouvelables dont l'apport ne peut être que marginal. Revenant au nucléaire, il a instamment recommandé que l'on redouble d'efforts pour réduire encore le risque d'accidents, élaborer davantage les solutions existantes pour l'élimination des déchets nucléaires, prévenir la prolifération des armes nucléaires et le trafic illicite des matières nucléaires, étudier de nouveaux types de réacteurs plus sûrs, plus simples, et même plus économiques que ceux de maintenant, et trouver pour l'énergie nucléaire d'autres applications que la simple production d'électricité.

## **Jamaïque: séminaire sur les garanties**

L'AIEA et l'Organisme pour l'interdiction des armes nucléaires en Amérique latine (OPANAL) ont organisé à Kingston, le 25 avril 1996, un séminaire sur les garanties de l'AIEA centré sur le processus de vérification du respect des engagements de non-prolifération. Les participants venaient d'Amérique latine et des Caraïbes.

Le Directeur général de l'AIEA a passé en revue les questions suivantes: applications pacifiques de l'énergie nucléaire, assistance et coopération techniques, production d'électricité nucléaire, garanties et non-prolifération.

Il a rappelé que l'AIEA menait de nombreuses activités dans le domaine nucléaire mais que



le public s'intéressait généralement davantage à la sûreté nucléaire et aux efforts de l'Agence pour freiner la prolifération des armes nucléaires. Ces deux questions, certes d'une extrême importance, doivent être maintenues en équilibre avec les services offerts par l'Agence à ses Etats Membres en développement qui attendent d'elle une aide pour élever le niveau de leurs connaissances de façon à améliorer la qualité de vie de leurs populations.

Le texte du discours est accessible par le service World Atom de l'AIEA, sur Internet (adresse: <http://www.iaea.or.at/worldatom>).

### **Fédération de Russie: signature de la Convention de Vienne**

La Fédération de Russie a signé la Convention de Vienne sur la responsabilité civile en matière de dommages nucléaires, dont l'AIEA est le dépositaire. A ce jour, 26 pays sont parties à la Convention, laquelle est entrée en vigueur en 1977 et

compte parmi les instruments qui fixent le cadre juridique mondial de la responsabilité dans le domaine nucléaire.

Pour renforcer ce régime, des juristes internationaux se trouvent réunis à Vienne sous les auspices de l'AIEA pour amender la Convention et en rédiger une nouvelle concernant un financement supplémentaire.

## YOUR LINKS ON THE INTERNET



- IAEA Press Releases
- Articles from the IAEA Bulletin
- Director General statements
- Topical overviews
- IAEA meetings



- Project updates
- Agency programmes and nuclear development
- Scientific databases
- The IAEA Annual Report
- Reports and documents
- Conference reports

Visit the IAEA's World Atom and TecAtom World Wide Web sites at <http://www.iaea.or.at>. If you want to reach us by electronic mail, the address is [iaeo@iaea1.iaea.or.at](mailto:iaeo@iaea1.iaea.or.at).

On line, the facts are yours 24 hours a day.



# STATISTIQUES INTERNATIONALES

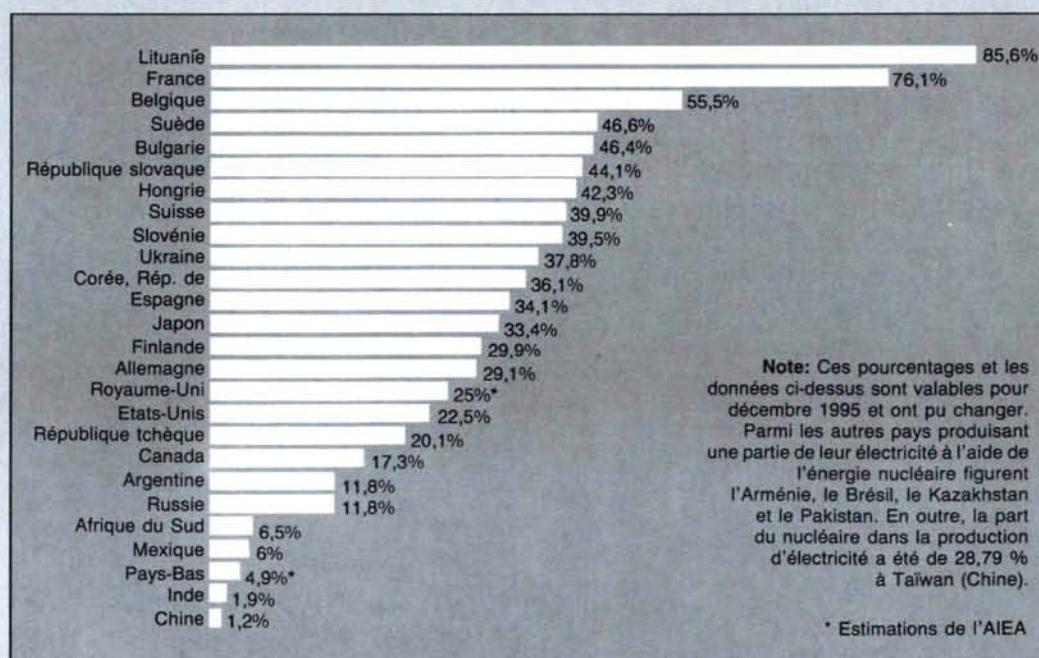
## Situation de l'énergie nucléaire dans le monde

	En service		En construction	
	Nombre de tranches	Total MWe	Nombre de tranches	Total MWe
Afrique du Sud	2	1 842		
Allemagne	20	22 017		
Argentine	2	935	1	692
Arménie	1	376		
Belgique	7	5 631		
Brésil	1	626	1	1 245
Bulgarie	6	3 538		
Canada*	21	14 907		
Chine	3	2 167		
Corée, Rép. de	11	9 120	5	3 870
Espagne	9	7 124		
Etats-Unis d'Amérique	109	99 414	1	1 165
Fédération de Russie	29	19 843	4	3 375
Finlande	4	2 310		
France	56	58 493	4	5 810
Hongrie	4	1 729		
Inde	10	1 695		
Iran			2	2 146
Japon	51	39 893	3	3 757
Kazakhstan	1	70		
Lituanie	2	2 370		
Mexique	2	1 308		
Pakistan	1	125	1	300
Pays-Bas	2	504		
République slovaque	4	1 632	4	1 552
République tchèque	4	1 648	2	1 824
Roumanie			2	1 300
Royaume-Uni	35	12 908		
Slovénie	1	632		
Suède	12	10 002		
Suisse	5	3 050		
Ukraine	16	13 629	5	4 750
<b>TOTAL*</b>	<b>437</b>	<b>344 422</b>	<b>39</b>	<b>32 594</b>

Note: En 1995, deux réacteurs ont été mis à l'arrêt (dont Bruce-2, au Canada, provisoirement).

\*Ce total inclut Taiwan (Chine) où six réacteurs d'une puissance totale de 4884 MWe sont en service.

## Part du nucléaire dans la production d'électricité de quelques pays



Note: Ces pourcentages et les données ci-dessus sont valables pour décembre 1995 et ont pu changer. Parmi les autres pays produisant une partie de leur électricité à l'aide de l'énergie nucléaire figurent l'Arménie, le Brésil, le Kazakhstan et le Pakistan. En outre, la part du nucléaire dans la production d'électricité a été de 28,79 % à Taiwan (Chine).

\* Estimations de l'AIEA



## République de Corée: histoire du tube à rayons X

Tout le passé scientifique et médical de la radiologie s'est trouvé résumé récemment à Séoul lors d'une exposition sur l'évolution des tubes à rayons X, réalisée par M. J.W. Nam, ancien fonctionnaire de l'AIEA, expert en physique des rayonnements, qui, toute sa vie, n'a cessé de s'intéresser à Wilhelm Conrad Roentgen et à sa découverte centenaire.

M. Nam, auteur d'une biographie de Roentgen en coréen, s'est mis à collectionner des tubes à rayons X dès 1955. L'exposition en montrait 43, fabriqués au cours des 40 dernières années, depuis les plus anciens à gaz et à ions jusqu'aux tubes «Coolidge» et enfin aux tubes modernes entière-

ment en métal ou moitié verre et moitié métal, et présentait quelques-uns des 120 mémoires scientifiques et 20 ouvrages historiques de sa collection, diverses photographies et des illustrations extraites de publications scientifiques retraçant l'évolution des tubes.

A partir de cette information, M. Nam a pu faire l'historique de la mise au point technique des tubes à rayons X depuis la découverte de Roentgen en 1895 (voir l'encadré).

L'exposition offrait une rétrospective des progrès scientifiques dans l'application des rayons X.

Pour plus de détails sur cette exposition, s'adresser à M. Nam, Hyodong Villa A-101, 4-2 Shinyong-dong, Chongno-ku, Séoul, République de Corée.

### Chronologie de l'évolution des tubes à rayons X

- |      |   |      |   |
|------|---|------|---|
| 1895 | Roentgen découvre les rayons X  | 1929 | Anode lourde en tungstène/cuivre (tournante)                    |
| 1896 | Introduction de la cathode concave (meilleure focalisation), de l'anticathode et du tube à ions à vide variable | 1932 | Grille de commande (anode fixe)                                 |
| 1899 | Tube à ions refroidi à l'eau (anticathode en platine)   | 1937 | Grille de commande (anode tournante)                            |
| 1903 | Anticathode en tungstène et tantale (depuis 1909, anticathode en tungstène)                                     | 1941 | Bétatron  |
| 1910 | Anode tournante (principe proposé en 1897, réalisation pratique en 1929)  | 1943 | Redresseur à filament en tungstène thoriaté                     |
| 1913 | Cathode chaude (Coolidge); redresseur à valve   | 1945 | Tube en verre trempé isolé à l'huile                            |
| 1914 | Enveloppe en verre trempé   | 1959 | Tube rapide   |
| 1915 | Anode gainée  | 1962 | Anode composite en alliage rhénium-tungstène                    |
| 1918 | Guide d'ondes (Goetze)  | 1971 | Tube verre/métal avec anode en molybdène (Mo)                   |
| 1920 | Refroidissement à l'huile   | 1972 | Anode réfractaire à compensation mécanique des contraintes      |
| 1925 | Rayons limite   | 1973 | Anode à trois couches (W-Re)+Mo+graphite, ou (W-Re)+W+(W-Zr-Mo) |
| 1926 | Fenêtre en béryllium  | 1979 | Tube en métal-céramique   |
| 1928 | Anode creuse  | 1981 | Tube à triple focalisation                                      |
|      |   | 1989 | Anode à refroidissement direct avec rotor silencieux            |





Des scientifiques, étudiants et correspondants des médias se sont rendus en République de Corée pour visiter cette exposition. En haut à gauche, M. Nam (à droite) donne aux visiteurs et aux invités des explications sur les divers tubes à rayons X de sa collection des 40 dernières années. (Photo: J.W. Nam)



# NOUVELLES PUBLICATIONS DE L'AIEA

## Rapports et comptes rendus

**Electricity, Health, and the Environment: Comparative Assessment in Support of Decision Making**, *Collection Comptes rendus*, ISBN 92-0-102496-7, SCH. 2 440\*

**Environmental Impact of Radioactive Releases**, *Collection Comptes rendus*, ISBN 92-0-10495-X, SCH. 2 480

**Induced Mutations and Molecular Techniques for Crop Improvement**, *Collection Comptes rendus*, ISBN 92-0-104695-2, SCH. 2 160

**Isotopes in Water Resources Management 1995**, *Collection Comptes rendus*, Vol. 1, ISBN-92-0-105595-1, SCH. 1 360; Vol. 2, ISBN-92-0-100796-5, SCH. 1 520

**Human Reliability Analyses in Probabilistic Safety Assessment of Nuclear Power Plants**, *Collection Sécurité n° 50-P-10*, ISBN 92-0-103395-8, SCH. 360

**Agressions externes dues aux activités humaines et conception des centrales nucléaires**, *Collection Sécurité n° 50-SG-D5 (Rev.1)*, ISBN 92-0-103295-1, SCH. 280

**Radiation Protection and the Safety of Radiation Sources**, *Collection Sécurité n° 120*, ISBN 92-0-105295-2, SCH. 160

**Establishing a National System for Radioactive Waste Management**, *Collection Sécurité n° 111-S-1*, ISBN 92-0-103495-4, SCH. 160

**International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources**, *Collection Sécurité n° 115*, ISBN 92-0-104295-7, SCH. 1 080

**Assessment of the Overall Fire Safety Arrangements at Nuclear Power Plants**, *Collection Sécurité n° 50-P-11*, ISBN 92-0-100996-8, SCH. 360

## Ouvrages de référence/statistiques

**IAEA Yearbook 1995**, ISBN 92-0-101295-0, SCH. 500

**Nuclear Power Reactors in the World**, *Données de référence n° 2*, SCH. 140, ISBN 92-0-101896-7 (IAEA-RDS-2/16)

**Nuclear Research Reactors in the World**, *Données de référence n° 3*, SCH. 200, ISBN 92-0-105394-0 (IAEA-RDS-3/09)

**NFCIS: The Nuclear Fuel Cycle Information System**, ISBN 92-0-101096-6, SCH. 920

\* Schillings autrichiens.

## LIEUX DE VENTE DES PUBLICATIONS DE L'AIEA

On pourra se procurer les ouvrages, rapports et autres publications de l'AIEA en s'adressant aux organismes ci-après ou dans de grandes librairies locales.

### ALLEMAGNE

UNO-Verlag, Vertriebs- und Verlags-GmbH,  
Dag Hammarskjöld-Haus,  
Poppelsdorfer Allee 55, D-53115 Bonn

### AUSTRALIE

Hunter Publications, 58A Gipps Street,  
Collingwood, Victoria 3066

### BELGIQUE

Jean de Lannoy,  
202, Avenue du Roi, B-1060 Bruxelles

### BRUNEI

Parry's Book Center Sdn. Bhd.,  
P.O. Box 10960, 50730 Kuala Lumpur,  
Malaisie

### CANADA

UNIPUB, 4611-F Assembly Drive,  
Lanham, MD 20706-4391, Etats-Unis

### CHINE

*Publications de l'AIEA en chinois:*  
China Nuclear Energy Industry Corporation,  
Translation Section, P.O. Box 2103, Beijing

### DANEMARK

Munksgaard International Publishers Ltd.,  
P.O. Box 2148, DK-1016 Copenhagen K

### EGYPTE

The Middle East Observer,  
41 Sherif Street,  
Le Caire

### ESPAGNE

Díaz de Santos, Lagasca 95,  
E-28006 Madrid  
Díaz de Santos, Balmes 417,  
E-08022 Barcelone

### ETATS-UNIS D'AMERIQUE

UNIPUB, 4611-F Assembly Drive,  
Lanham, MD 20706-4391

### FRANCE

Office International de Documentation  
et Librairie, 48, rue Gay-Lussac,  
F-75240 Paris Cedex 05

### HONGRIE

Librotrade Ltd., Book Import,  
P.O. Box 126, H-1656 Budapest

### INDE

Viva Books Private Limited,  
4325/3, Ansari Road,  
Darya Ganj,  
New Delhi-110002

### ISRAEL

YOZMOT Literature Ltd.,  
P.O. Box 56055, IL-61560 Tel Aviv

### ITALIE

Libreria Scientifica  
Dott. Lucio di Biasio «AEIOU»,  
Via Coronelli 6, I-20146 Milan

### JAPON

Maruzen Company Ltd.,  
P.O. Box 5050,  
100-31 Tokyo International

### MALAISIE

Parry's Book Center Sdn. Bhd.,  
P.O. Box 10960, 50730 Kuala Lumpur

### PAYS-BAS

Martinus Nijhoff International,  
P.O. Box 269, NL-2501 AX La Haye  
Swets and Zeitlinger b.v.,  
P.O. Box 830, NL-2610 SZ Lisse

### POLOGNE

Ars Polona,  
Foreign Trade Enterprise,  
Krakowskie Przedmieście 7,  
PL-00-068 Varsovie

### REPUBLIQUE TCHEQUE

Artia Pegas Press Ltd.,  
Palác Metro, Narodní tř. 25,  
P.O. Box 825, CZ-111 21 Prague 1

### ROYAUME-UNI

HMSO, Publications Centre,  
Agency Section,  
51 Nine Elms Lane, Londres SW8 5DR

### SINGAPOUR

Parry's Book Center Pte. Ltd.,  
P.O. Box 1165, Singapour 913415

### SLOVAQUIE

Alfa Press Publishers,  
Hurbanovo námestie 3,  
SQ-815 89 Bratislava

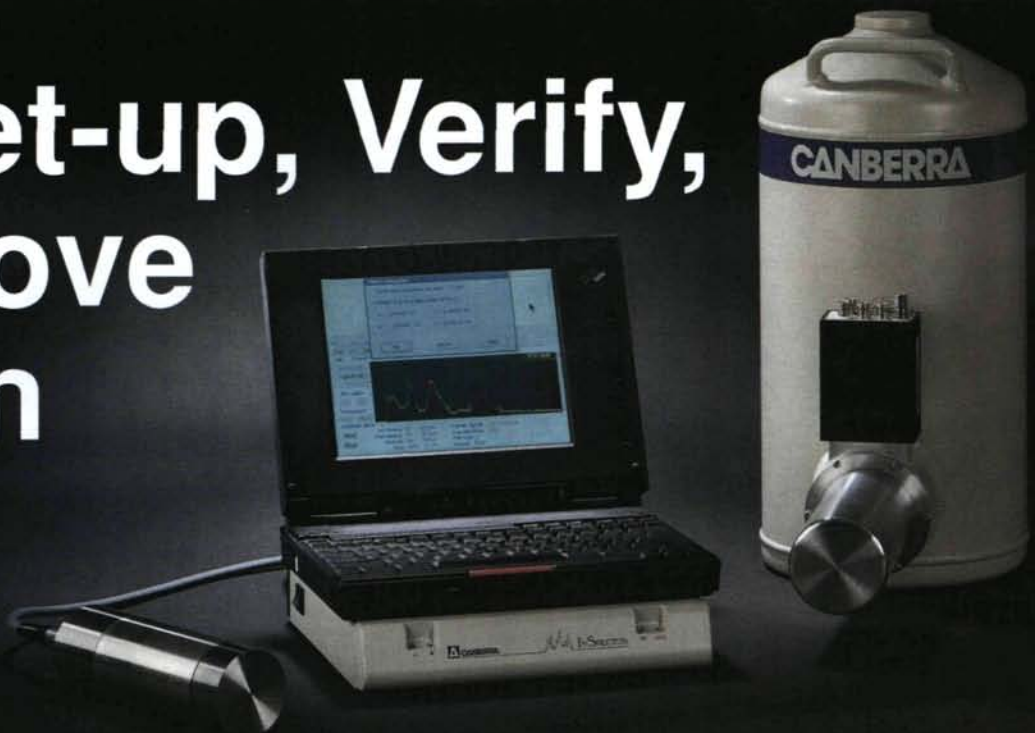
### SUEDE

Fritzes Customer Service,  
S-106 47 Stockholm

**Sauf pour les Etats-Unis et le Canada, les commandes et les demandes de renseignements peuvent aussi être envoyées directement à l'adresse suivante:**  
Unité de la promotion et de la vente des publications  
Agence internationale de l'énergie atomique  
Wagramerstrasse 5, B.P. 100,  
A-1400 Vienne, Autriche  
Téléphone: +43 1 2060 (22529, 22530)  
Fac-similé: +43 1 2060 29302  
Courrier électronique:  
SALESPUB@ADPO1.IAEA.OR.AT



# Set-up, Verify, Move On



## *Fast, Reliable On-Site Verification Measurements with IMCA*

When taking on-site verification measurements for safeguards, inspectors can't afford to experience problems with outdated MCA technology, cumbersome user interfaces and complicated operating procedures. They need to set up quickly, take the measurement and move on. They need to maximize accuracy and reliability while minimizing time and operational impact at the facility.

With Canberra's IMCA (InSpector MultiChannel Analyzer), safeguards inspectors can do just that. Built on the world's smallest, full featured MCA, the IMCA offers portable, laboratory grade spectroscopy with all day operation from standard video camcorder batteries.

Measurement procedures are built-in for uranium enrichment and plutonium isotopic measurements. The IMCA supports multiple detector configurations – using Am-doped or undoped NaI detectors, CdTe detectors and HPGc detectors. Temperature compensation is built in for Am-doped NaI detectors.

Inspectors don't have to worry about setting up the MCA – setting gains or High Voltage values – in the field. Simply select the desired procedure from a menu and the system automatically downloads previously defined setups and calibrations for the exact measurement and detector in use. It's fast – and the possibility of error is virtually eliminated.

Data reduction is performed using either enrichment meter techniques or optionally, Canberra's exclusive safeguards versions of MGA or MGAU. All measurement and calibration data, system setup parameters, and performance monitoring information, are automatically archived for subsequent lab reanalysis. Built-in QA procedures verify that everything is working correctly.

Keep your inspectors moving – use the IMCA and get fast, accurate, dependable results.

For additional information on the Canberra IMCA, call, write, or fax us today.



**CANBERRA**

Canberra Industries Inc., Nuclear Products Group, 800 Research Parkway, Meriden, CT 06450 U.S.A.  
Tel: (203) 238-2351 Toll Free 1-800-243-4422 FAX: (203) 235-1347 <http://www.canberra.com>

ISO 9001  
SYSTEM  
CERTIFIED

With Offices In: Australia, Austria, Belgium, Canada, Central Europe, Denmark, France, Germany, Italy, Netherlands, Russia, United Kingdom.



# VACANCES DE POSTES A L'AIEA

**CHEF DE SECTION (96/073)**, Département de la recherche et des isotopes. Grade P-5. *Fonctions*: assurer l'encadrement technique et administratif nécessaire pour la formulation, l'orientation et le suivi de l'exécution du programme mixte FAO/AIEA qui a pour objet d'aider les Etats Membres à appliquer les méthodes isotopiques et radiologiques en pédologie et en phytonutrition. *Qualifications*: doctorat ou diplôme équivalent en pédologie ou en agronomie et 15 ans d'expérience de la gestion de travaux de recherche et de projets faisant appel aux isotopes et aux rayonnements et visant à mettre au point des stratégies intégrées de gestion des éléments nutritifs et des eaux dans les systèmes d'exploitation. *Date limite pour la présentation des candidatures*: 3 janvier 1997.

**EVALUATEUR DE DONNEES RELATIVES AUX GARANTIES (96/072)**, Département des garanties. Grade P-3. *Fonctions*: coordonner le traitement des résultats d'analyses destructives (AD) et non destructives (AND) et de mesures faites sur des échantillons de l'environnement. *Qualifications*: diplôme universitaire supérieur en statistique, génie nucléaire ou chimie analytique et six ans d'expérience de l'évaluation des mesures de matières nucléaires et des données informatiques pertinentes. *Date limite pour la présentation des candidatures*: 3 janvier 1997.

**SPECIALISTE DE LA BIOTECHNOLOGIE VEGETALE (96/064)**, Département de la recherche et des isotopes. Grade P-3. *Fonctions*: diriger le service FAO/AIEA d'irradiation de matériel végétal *in vivo* et *in vitro* et mettre au point des techniques moléculaires appropriées en biotechnologie végétale et les transférer aux Etats Membres en développement. *Qualifications*: doctorat ou diplôme équivalent en phyto-génétique/sélection des plantes; expérience attestée de l'utilisation des techniques moléculaires; expérience de l'application des mutagènes physiques et/ou chimiques, et au moins six ans d'expérience en phyto-génétique/sélection des plantes. *Date limite pour la présentation des candidatures*: 6 décembre 1996.

**CHEF D'UNITE (96/063)**, Département des garanties. Grade P-5. *Fonctions*: organiser et administrer les travaux de l'unité et accomplir les autres tâches confiées par le chef de la section et les responsables de la division et du département. *Qualifications*: diplôme universitaire supérieur en chimie, physique, ingénierie ou électronique/instrumentation ou dans une discipline équivalente. Au moins 15 ans d'expérience des activités industrielles et de garanties concernant le cycle du combustible nucléaire, le traitement des matières nucléaires, la comptabilité matières ou l'analyse destructive/non destructive; et grande expérience des activités relatives aux garanties dans les installations, notamment de la planification

des inspections, de leur exécution et de l'analyse des données. *Date limite pour la présentation des candidatures*: 6 décembre 1996.

**SPECIALISTE PRINCIPAL DE L'EVALUATION (96/062)**, Département des garanties. Grade P-5. *Fonctions*: superviser la collecte des données, le contrôle de la qualité et l'évaluation en vue de l'établissement du rapport annuel sur l'application des garanties. Déterminer l'efficacité des procédures d'évaluation et en mettre au point de nouvelles dans le cadre du renforcement du programme des garanties. *Qualifications*: diplôme universitaire supérieur de chimie, physique, ingénierie ou électronique/instrumentation, ou diplôme équivalent. Au moins 15 ans d'expérience du cycle du combustible nucléaire sous l'angle de la recherche, de l'industrie et des garanties; et expérience de l'évaluation au titre des garanties. *Date limite pour la présentation des candidatures*: 6 décembre 1996.

**CHEF DE SECTION (96/061)**, Département de l'administration. Grade P-5. *Fonctions*: planifier, organiser, suivre et diriger les travaux de traduction, de révision, de terminologie et de référence de la section de traduction anglaise; réviser des traductions anglaises et des comptes rendus anglais originaux et assurer, le cas échéant, la mise au point rédactionnelle. *Qualifications*: diplôme universitaire supérieur, culture générale étendue et connaissance suffisante des questions scientifiques, en particulier dans le domaine nucléaire; style clair et concis. Au moins 15 ans d'expérience dans le domaine linguistique, de préférence dans une organisation internationale, dont au moins cinq en qualité de réviseur. *Date limite pour la présentation des candidatures*: 6 décembre 1996.

**PROGRAMMEUR DE DEVELOPPEMENT (96/060)**, Département des garanties. Grade P-2. *Fonctions*: aider à la création et tenue à jour des systèmes de gestion de base de données décentralisés du département et participer à la mise en œuvre du dispositif informatique client/serveur de ce dernier. *Qualifications*: diplôme universitaire en informatique ou dans une discipline apparentée, avec deux ans d'expérience pratique et une connaissance approfondie de MS-SQL et de produits connexes. *Date limite pour la présentation des candidatures*: 6 décembre 1996.

**EDITEUR (96/059)**, Département de l'administration. Grade P-3. *Fonctions*: mettre au point des manuscrits scientifiques et techniques, y compris des données mathématiques et des figures, conformément à la politique et au style adoptés par l'Agence en la matière; donner des conseils concernant les documents destinés à Internet et autres supports électroniques; mettre au point les comptes rendus de colloques ou de conférences, assister à des colloques, à des confé-

rences ou à des séminaires; collaborer avec des spécialistes pour la mise au point scientifique et la présentation technique de manuscrits. *Qualifications*: diplôme universitaire ou équivalent; six ans d'expérience de la mise au point de publications, notamment scientifiques, et de l'élaboration de produits électroniques. *Date limite pour la présentation des candidatures*: 6 décembre 1996.

## INSPECTEUR DES GARANTIES NUCLEAIRES

(plusieurs postes) (96/SGO-4), Département des garanties. Grade P-4. *Fonctions*: participer à l'application du système des garanties de l'Agence en qualité d'inspecteur sous réserve de l'approbation du Conseil des gouverneurs. *Qualifications*: diplôme universitaire de chimie, physique, ingénierie ou électronique/instrumentation, ou équivalent; au moins dix ans d'expérience du cycle du combustible nucléaire, du traitement des matières nucléaires, de la comptabilité matières ou de l'analyse non destructive, de préférence dans les conditions d'exploitation en usine. *Date limite pour la présentation des candidatures*: 31 décembre 1996.

## NOTE:

Les avis de vacances de postes (résumés ci-dessus) sont publiés à l'intention des lecteurs souhaitant se renseigner sur le genre de postes d'administrateur à pourvoir à l'AIEA. Ils ne constituent pas des avis officiels et sont susceptibles d'être modifiés. L'AIEA en envoi fréquemment aux centres et bureaux d'information de l'ONU ainsi qu'aux organes gouvernementaux et organismes de ses Etats membres (ministère des affaires étrangères et autorité chargée de l'énergie atomique). Il est conseillé aux personnes intéressées par une éventuelle candidature de se tenir en rapport avec ces derniers. Ces postes sont ouverts aux candidats hommes ou femmes possédant les qualifications appropriées. De plus amples renseignements sur les possibilités d'emploi à l'AIEA peuvent être obtenus en écrivant à la Division du personnel, B.P. 100, A-1400 Vienne (Autriche).

## SERVICES INFORMATIQUES EN LIGNE

Les avis de vacances de postes d'administrateur de l'AIEA, de même que les notices personnelles de présentation de candidature, sont désormais disponibles sur un réseau informatique mondial auquel il est possible d'accéder directement par les services Internet. Ils sont accessibles par les services *World Atom* de l'AIEA, sur *World Wide Web*, à l'adresse suivante:

<http://www.iaea.or.at/worldatom/vacancies>  
On peut également obtenir des renseignements généraux sur les conditions d'emploi à l'AIEA. Veuillez noter que les candidatures ne sont pas transmises sur le réseau informatisé, car elles doivent être adressées par écrit à la Division du personnel de l'AIEA, B.P. 100, A-1400 Vienne, Autriche.



# DSPeC™



## Gamma-Ray Spectroscopy Goes Digital

**Unlike existing gamma-ray spectrometers, DSPEC\*** from EG&G ORTEC incorporates the latest **Digital** Signal Processing technology and surpasses the performance offered by analog techniques.

**Unlike existing gamma-ray spectrometers, the DSPEC Digital** Spectrometer achieves the optimum resolution possible from each HPGe detector, even when ultra-high throughput is required.

**Unlike existing gamma-ray spectrometers, DSPEC** solves the ballistic deficit problem associated with large Ge detectors and thereby delivers the optimum resolution of which they are capable.

**Unlike existing gamma-ray spectrometers, DSPEC** achieves superior stability of resolution and peak shape over a wide range of count rates and operating conditions.

**Unlike existing gamma-ray spectrometers, DSPEC** allows you to precisely match the instrument settings to your specific detector, via an "infinitely" variable integration-time selection. Vital system functions can be continuously observed via the new **InSight™** virtual oscilloscope. With DSPEC: no screwdrivers, no oscilloscopes, no aggravation.

\* Pronounced D-Spec

## DSPEC...UNLIKE EXISTING GAMMA-RAY SPECTROMETERS.

Call the HOTLINE, to learn what DSPEC will mean for you.



**EG&G ORTEC**

**HOTLINE 800-251-9750**

100 Midland Road, Oak Ridge, TN 37831-0895 U.S.A. • (423) 482-4411 • Fax (423) 483-0396

Internet: 709-6992@MCIMAIL.COM

AUSTRIA  
(01) 9142251

CANADA  
(800) 251-9750

FRANCE  
76.90.70.45

GERMANY  
(089) 926920

ITALY  
(02) 27003636

JAPAN  
(043) 2111411

NETHERLANDS  
(0306) 090719

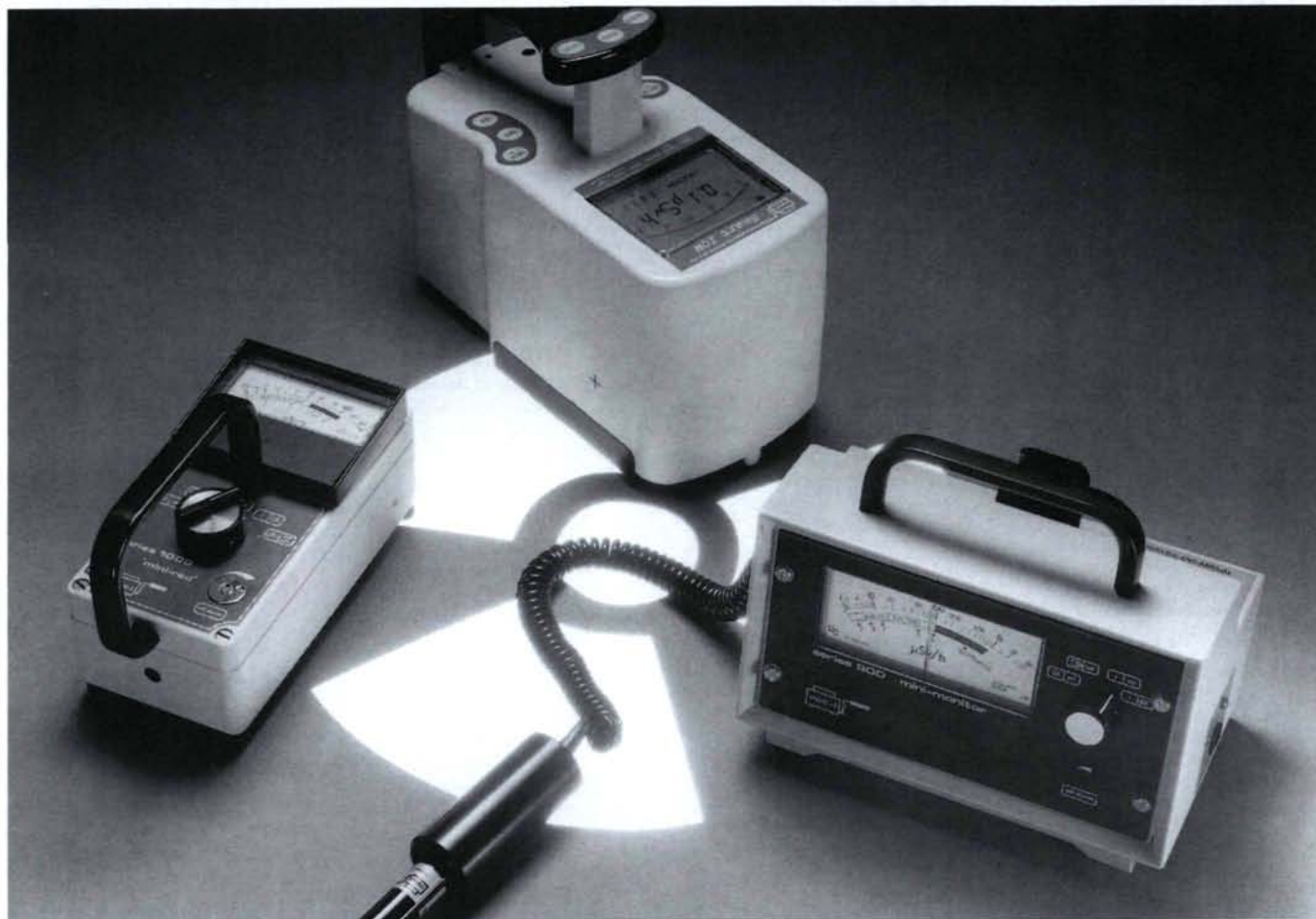
UK  
(01734) 773003

PRC  
(010) 5124079



- AMENTA, J.** INIS: le pionnier de l'inforoute nucléaire a 25 ans, n° 3 p. 39
- ANDEMICAEL, B.** Histoire d'un compromis: le TNP et l'avenir, n° 3 p. 30
- BAECKMANN von, A.** Vérification du nucléaire en Afrique du Sud, n° 1 p. 42
- BANNER, D.L.** Coopération mondiale à la fusion nucléaire: un historique de progrès constants, n° 4 p. 16
- BARRETTO, P.** Coopération technique de l'AIEA: améliorer les transferts de technologie, n° 1 p. 3
- BARTON, J.** L'AIEA en ligne: la communauté nucléaire mondiale resserre ses liens, n° 3 p. 44
- BAXTER, M.** Les océanographes et les mers arctiques: mise au point du dossier radiologique, n° 2 p. 31
- BERTEL, E.** Electricité, santé et environnement: le projet DECADES, n° 2 p. 2  
L'énergie nucléaire et le débat écologique: le contexte des choix, n° 4 p. 2
- BLIX, H.** L'AIEA, les Nations Unies et le nouveau projet nucléaire mondial, n° 3 p. 3
- BONNE, A.** Gestion des déchets radioactifs: examens par des homologues internationaux, n° 4 p. 26
- BOOTHROYD, A.D.** L'énergie nucléaire: option toujours valable, n° 2 p. 14
- BOUSSAHA, A.** La coopération nucléaire en Afrique: développer les compétences et les ressources, n° 1 p. 37
- CHITUMBO, K.** Les garanties dans l'Union européenne: la nouvelle formule de partenariat, n° 1 p. 25
- CLEVELAND, J.C.** Fusion nucléaire: préciser les objectifs de la sûreté et de la protection de l'environnement, n° 4 p. 22
- DAVIES, L.M.** L'énergie nucléaire: option toujours valable, n° 2 p. 14
- DILLON, G.** Vérification du nucléaire en Afrique du Sud, n° 1 p. 42
- DOLAN, T.J.** Coopération mondiale à la fusion nucléaire: un historique de progrès constants, n° 4 p. 16  
Fusion nucléaire: préciser les objectifs de la sûreté et de la protection de l'environnement, n° 4 p. 22
- ELBARADEI, M.** Le droit international et l'énergie nucléaire: aperçu du cadre juridique, n° 3 p. 16
- FLAKUS, F.N.** Les rayonnements sous leur vrai jour: les risques doivent être mieux compris, n° 2 p. 7  
Fusion nucléaire: préciser les objectifs de la sûreté et de la protection de l'environnement, n° 4 p. 22
- HERA, C.** L'atome au champ: enrichir la terre du paysan, n° 2 p. 36
- HIDE, K.** Centrales nucléaires: vers plus de sûreté, n° 4, p. 8.
- HOOPER, R.** Les garanties de l'AIEA dans les années 90: édifier sur l'acquis, n° 1 p. 14
- JACKSON, D.P.** Coopération mondiale à la fusion nucléaire: un historique de progrès constants, n° 4 p. 16
- KABANOV, L.** Les centrales nucléaires de l'avenir: harmoniser les impératifs de sûreté, n° 4 p. 12.
- KOUVSHINNIKOV, B.A.** Coopération mondiale à la fusion nucléaire: un historique de progrès constants, n° 4 p. 16
- KUPITZ, J.** L'énergie nucléaire et le dessalement de l'eau de mer: le point sur la question, n° 2 p. 21
- LINSLEY, G.** Projet international d'évaluation pour les mers arctiques: état d'avancement des travaux, n° 2 p. 25
- LOPEZ LIZANA, F.** Les services de radioprotection: du laboratoire à la pratique, n° 3 p. 26
- MAKSOUDI, M.** La coopération nucléaire en Afrique: développer les compétences et les ressources, n° 1 p. 37
- MAUTNER-MARKHOF, F.** L'énergie d'origine nucléaire: formation dans l'intérêt de la sûreté et de la fiabilité, n° 2 p. 18
- MCGOLDRICK, F.** Initiatives des Etats-Unis relatives aux matières fissiles: conséquences pour l'AIEA, n° 1 p. 49
- NWOGUGU, E.** Le droit international et l'énergie nucléaire: aperçu du cadre juridique, n° 3 p. 16
- OPELZ, M.** Histoire d'un compromis: le TNP et l'avenir, n° 3 p. 30
- OSVATH, I.** Les océanographes et les mers arctiques: mise au point du dossier radiologique, n° 2 p. 31
- OUVARD, R.** Les services de radioprotection: du laboratoire à la pratique, n° 3 p. 26
- PELLAUD, B.** Les garanties de l'AIEA dans les années 90: édifier sur l'acquis, n° 1 p. 14
- PERRICOS, D.** Vérification du nucléaire en Afrique du Sud, n° 1 p. 42
- POVINEC, P.** Les océanographes et les mers arctiques: mise au point du dossier radiologique, n° 2 p. 31
- PRIEST, J.** Garanties de l'AIEA: les corrélations, n° 1 p. 2  
Histoire d'un compromis: le TNP et l'avenir, n° 3 p. 30
- QIAN, J.** L'atome au service de la paix: partager les bienfaits des techniques nucléaires, n° 1 p. 21
- RAMES, J.** Le droit international et l'énergie nucléaire: aperçu du cadre juridique, n° 3 p. 16
- RAO, K.V.M.** L'énergie d'origine nucléaire: formation dans l'intérêt de la sûreté et de la fiabilité, n° 2 p. 18
- ROGOV, A.** L'atome au service de la paix: partager les bienfaits des techniques nucléaires, n° 1 p. 21
- ROMAN-MOREY, E.** Le Traité de Tlatelolco: instrument de paix et de développement pour l'Amérique latine, n° 1 p. 33
- ROSEN, M.** Comprendre les risques radiologiques: les leçons de la Conférence de Paris, n° 2 p. 12
- SHARMA, S.K.** L'AIEA et le système des Nations Unies: le dispositif de coopération nucléaire, n° 3 p. 10
- SJOEBLOM, K.-L.** Projet international d'évaluation pour les mers arctiques: état d'avancement des travaux, n° 2 p. 25
- SNIHS, J.O.** L'évacuation des déchets radioactifs: principes et normes radiologiques, n° 4 p. 30
- SOROKIN, A.** INIS: le pionnier de l'inforoute nucléaire a 25 ans, n° 3 p. 39
- THORSTENSEN, S.** Les garanties dans l'Union européenne: la nouvelle formule de partenariat, n° 1 p. 25  
Comptabilité et contrôle des matières nucléaires: coordonner l'assistance aux Etats nouvellement indépendants, n° 1 p. 29
- VAN DE VATE, J.** L'énergie nucléaire et le débat écologique: le contexte des choix, n° 4 p. 2
- WARNECKE, E.** Gestion des déchets radioactifs: examen par des homologues internationaux, n° 4 p. 26
- WEDEKIND, L.** L'AIEA en ligne: la communauté nucléaire mondiale resserre ses liens, n° 3 p. 44

## Radiation Measurement and Control- rely on Mini's range and know-how.



Since its formation in 1963, Mini Instruments has produced a wide range of units for the accurate monitoring and measurement of radiation and contamination. Illustrated is a selection of up-to-the-minute Mini units of which there are nearly 40,000 currently in use throughout the world.

**SmartION** a state-of-the-art, microcomputer based ion chamber survey meter for the measurement of Gamma, Beta and X-ray radiation, and which sets new standards in versatility, accuracy, operational simplicity and reliability.

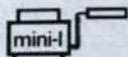
**The 1000 Series Mini-Rad** gamma survey monitor for use by research, hospital and industrial organisations as an inexpensive, convenient and reliable gamma doserate meter.

**The 900 Series** of monitors for radiation control. All units have a large logarithmically scaled meter:

a speaker to give an audible estimate of radiation intensity: an alarm which can be set to trip at any level on the scale: battery or mains operation.

Full technical information and prices are available on request.

*Mini Instruments Limited,  
15 Burnham Business Park,  
Springfield Road,  
Burnham-on-Crouch, Essex,  
CM0 8TE. England.  
Telephone: 01621 783282.  
Fax: 01621 783132.*



MINI-INSTRUMENTS LTD

# RAD/CON

RADIATION AND CONTAMINATION INSTRUMENTATION



# BASES DE DONNEES EN LIGNE

AGENCE INTERNATIONALE DE L'ENERGIE ATOMIQUE



## Désignation

Système de documentation sur les réacteurs de puissance (PRIS)

## Description

Répertoire technique

## Producteur

Agence internationale de l'énergie atomique en collaboration avec 29 de ses Etats membres

## Service compétent

AIEA, Section du génie nucléaire, B.P. 100, A-1400 Vienne, Autriche  
Téléphone +43-1-2060  
Télex 1-12645

Téléfax +43-1-20607

Courrier électronique via BITNET/INTERNET ID: NES@IAEA1.IAEA.OR.AT

## Domaine

Information mondiale sur les réacteurs de puissance en exploitation, en construction, en projet ou mis à l'arrêt et données d'expérience sur l'exploitation des centrales nucléaires dans les Etats membres de l'AIEA.

## Sujets traités

Etat du réacteur, désignation, emplacement, type, constructeur, fournisseur des turbo-alternateurs, propriétaire et exploitant de la centrale, puissance thermique, puissance électrique brute et nette, date de mise en chantier, date de la première criticité, date de la première synchronisation avec le réseau, exploitation industrielle, date de la mise à l'arrêt, caractéristiques du cœur du réacteur et renseignements sur les systèmes de la centrale; énergie produite, arrêts prévus et imprévus, facteurs de disponibilité et d'indisponibilité, facteur d'exploitation et facteur de charge.



## Désignation

Système international d'information pour les sciences et la technologie agricoles (AGRIS)

## Description

Bibliographie

## Producteur

Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) en collaboration avec 172 centres régionaux, nationaux et internationaux d'AGRIS

## Service compétent

Poste de traitement d'AGRIS c/o AIEA, B.P. 100, A-1400 Vienne, Autriche  
Téléphone +43-1-2060  
Télex 1-12645

Téléfax +43-1-20607

Courrier électronique via BITNET/INTERNET ID: FAS@IAEA1.IAEA.OR.AT

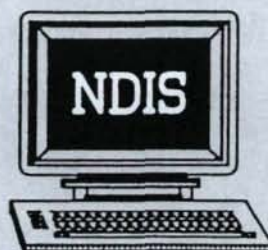
**Nombre d'enregistrements accessibles depuis janvier 1993**  
plus de 130 000

## Domaine

Information mondiale sur les sciences et la technologie agricoles, y compris la foresterie, la pêche et la nutrition.

## Sujets traités

Agriculture en général; géographie et histoire; enseignement, vulgarisation et information; administration et législation; économie agricole; développement et sociologie rurale; phytotechnie, zootechnie et production végétale et animale; protection phytosanitaire; technologie post-récolte; pêche et aquaculture; machines et génie agricoles; ressources naturelles; traitement des produits agricoles; nutrition humaine; pollution; méthodologie.



## Désignation

Système de documentation sur les constantes nucléaires (NDIS)

## Description

Données numériques et bibliographiques

## Producteur

Agence internationale de l'énergie atomique en collaboration avec le Nuclear Data Centre du Laboratoire national de Brookhaven (Etats-Unis), la Banque de constantes nucléaires de l'Agence pour l'énergie nucléaire de l'Organisation de coopération et de développement économiques à Paris, et un réseau de 22 autres centres de constantes nucléaires dans le monde

## Service compétent

AIEA, Section des constantes nucléaires B.P. 100, A-1400 Vienne, Autriche  
Téléphone +43-1-2060  
Télex 1-12645

Téléfax +43-1-20607

Courrier électronique via BITNET/INTERNET ID:

RNDS@IAEA1.IAEA.OR.AT

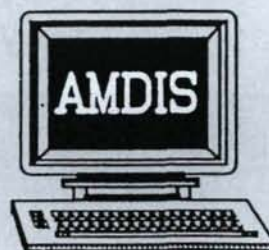
## Domaine

Fichier de constantes de physique nucléaire numériques décrivant l'interaction des rayonnements avec la matière, et renseignements bibliographiques connexes.

## Sujets traités

Constantes évaluées de réactions neutroniques en ENDF; constantes expérimentales de réactions nucléaires en EXFOR, pour les réactions produites par les neutrons, les particules chargées, ou les photons; périodes nucléaires et constantes de désintégration radioactive dans les systèmes NUDAT et ENSDF; renseignements bibliographiques connexes tirés des bases de données de l'AIEA, CINDA et NSR; divers autres types de données.

*Note: L'information NDIS recherchée en mode non connecté peut aussi être obtenue du producteur sur bande magnétique.*



## Désignation

Système de documentation sur les constantes atomiques et moléculaires (AMDIS)

## Description

Données numériques et bibliographiques

## Producteur

Agence internationale de l'énergie atomique en collaboration avec le réseau international des centres de constantes atomiques et moléculaires, qui regroupe 16 centres de constantes nationales

## Service compétent

Unité de constantes atomiques et moléculaires, Section des constantes nucléaires de l'AIEA  
Courrier électronique via BITNET à RNDS@IAEA1; ou via INTERNET ID: PSM@RIPCRS01.IAEA.OR.AT

## Domaine

Données atomiques et moléculaires et données sur l'interaction plasma-surface, ainsi que sur les propriétés des matériaux intéressants du point de vue de la recherche et de la technologie relatives à la fusion.

## Sujets traités

Données au format ALADDIN relatives à la structure atomique et aux spectres (niveaux d'énergie, longueurs d'onde et probabilités de transition); collisions d'électrons et de particules lourdes avec des atomes, des ions et des molécules (sections efficaces et/ou coefficients de vitesse, y compris, dans la plupart des cas, ajustement analytique avec les données); érosion superficielle par impact des principaux composants du plasma et auto-érosion; réflexion de particules sur les surfaces; propriétés thermophysiques et thermomécaniques du béryllium et des graphites pyrolytiques.

*Note: Le résultat des recherches effectuées en mode déconnecté peut être obtenu du producteur sur disquette, sur bande magnétique ou sous forme imprimée. Le logiciel ALADDIN et son manuel d'utilisation sont également disponibles auprès du producteur.*

Pour accéder à ces bases de données, s'adresser aux producteurs.  
L'information peut également être fournie par le producteur sous forme imprimée, à titre onéreux.  
INIS et AGRIS sont également disponibles sur CD-ROM.





**Désignation**  
Système international  
de documentation nucléaire  
(INIS)

**Description**  
Bibliographie

**Producteur**  
Agence internationale de l'énergie atomique  
en collaboration avec  
91 de ses Etats membres et  
17 autres organisations participantes

**Service compétent**  
AIEA, Section de l'INIS,  
B.P. 100, A-1400 Vienne, Autriche  
Téléphone +43-1-2060-22842  
Téléfax +43-1-20607-22842  
Courrier électronique via  
BITNET/INTERNET ID:  
ATIEH@NEPO1.IAEA.OR.AT

**Nombre d'enregistrements  
accessibles**  
depuis janvier 1976  
plus de 1 600 000

**Domaine**  
Information mondiale sur les appli-  
cations pacifiques de la science et de  
la technologie nucléaires, ainsi que sur  
les aspects économiques et environ-  
nementaux de toutes les autres  
sources d'énergie.

**Sujets traités**  
Essentiellement: réacteurs nucléaires,  
sûreté des réacteurs, fusion nucléaire,  
application des rayonnements ou des  
isotopes en médecine, en agriculture,  
dans l'industrie, dans la lutte contre  
les ravageurs, ainsi que dans des  
domaines connexes tels que la chimie  
nucléaire, la physique nucléaire et  
la science des matériaux.  
Plus spécialement: effets environnementaux,  
économiques et sanitaires de  
l'énergie nucléaire et, depuis 1992,  
incidences économiques et environnemen-  
tales des sources d'énergie non nucléaires.  
Aspects juridiques et sociaux  
de ces diverses questions.

# INIS

## ON CD-ROM



The IAEA's  
nuclear science  
and  
technology  
database on  
CD-ROM

5000 JOURNALS

MORE THAN 1.6 MILLION RECORDS

6 COMPACT DISCS

*INIS (the International Nuclear Information System) is a multi-disciplinary, bibliographic database covering all aspects of the peaceful uses of nuclear science and technology. INIS on CD-ROM combines the worldwide coverage of the nuclear literature with all the advantages of compact disc technology.*

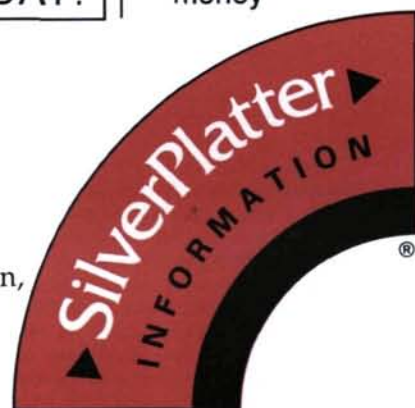
Call +44 (0)81 995 8242 TODAY!

for further information  
and details of your local distributor

or write to  
SilverPlatter Information Ltd.  
10 Barley Mow Passage, Chiswick, London,  
W4 4PH, U.K.  
Tel: 0800 262 096 +44 (0)81 995 8242  
Fax: +44 (0)81 995 5159

## CD-ROM means

- ◆ unlimited easy access
- ◆ fast, dynamic searching
- ◆ fixed annual cost
- ◆ flexible down-loading and printing
- ◆ desktop access
- ◆ easy storage
- ◆ saving time, space and money







**Mesure de la dose à l'aide de chambres d'ionisation à grille dans les faisceaux d'électrons et de photons utilisés en thérapie**

Vérifier la précision des données et des procédures indiquées dans le nouveau code de bonne pratique. En outre, les écarts par rapport aux recommandations en vigueur seront quantifiés pour en étudier les effets possibles en dosimétrie thérapeutique.

**Acquisition et évaluation de constantes photonucléaires en vue de leur application**

Constituer un fichier de sections efficaces évaluées relatives aux réactions photo-nucléaires. La liste des noyaux devrait inclure les éléments naturels et leurs isotopes qui jouent un rôle important dans les matières biologiques et les matériaux de structure et de protection, ainsi que les actinides, les produits de fission et quelques autres.

**Maintien de l'intégrité structurale des cuves de réacteurs**

Faciliter l'échange d'information au niveau international, donner des conseils pratiques pour la surveillance des cuves de réacteurs, et mettre au point et évaluer une procédure uniforme d'essai de spécimens pour juger de l'intégrité structurale des cuves.

**Mise au point des données radiologiques de base pour garantir la sûreté du transport de matières de faible activité spécifique et d'objets superficiellement contaminés**

Aider l'Agence à formuler des spécifications pour la sûreté du transport. Ce programme fournira une base pour le classement des matières de faible radioactivité (tels certains déchets) et la modélisation des rejets éventuels en cas d'accident en cours de transport.

**Elaboration de méthodes pour optimiser le contrôle de la surveillance et la maintenance des organes importants pour la sûreté des centrales nucléaires**

Organiser l'échange de données d'expérience pour l'examen et l'analyse des diverses stratégies visant à améliorer et à optimiser le contrôle de la surveillance et la maintenance aux fins de la sûreté des centrales nucléaires, et faciliter l'échange des méthodes et techniques utilisées pour cette optimisation.

**Méthodes de modélisation et d'évaluation de la biosphère (BIOMASS)**

Etudier et quantifier le comportement des radionucléides dans la biosphère pour faciliter l'évaluation de l'impact radiologique des pratiques et des interventions dans le cadre des activités du cycle du combustible, y compris la gestion des déchets.

**Modélisation du transport des substances radioactives dans le circuit primaire des réacteurs refroidis à l'eau**

Comparer et améliorer les codes informatiques pour la modélisation du transport des substances radioactives dans le circuit primaire des réacteurs.

**Projet de l'Asiate normalisé (phase 2): ingestion et concentration dans les organes d'éléments traces importants en radioprotection**

Acquérir des données analytiques de haute qualité sur l'absorption par l'alimentation (ingestion) et la composition de l'organisme de populations asiatiques représentatives, en ce qui concerne plus spécialement les éléments traces importants en radioprotection.

**Emploi du radiotraitement pour préparer des matières biologiques destinées à la médecine**

Promouvoir l'étude et la préparation de matières à usage médical et industriel à l'aide de méthodes de radiosynthèse et de techniques nucléaires.

**SEPTEMBRE 1996**

Conférence générale de l'AIEA, 40ème session  
**Vienne, Autriche** (16-20 septembre)

**OCTOBRE 1996**

16ème Conférence de l'AIEA sur l'énergie de fusion  
**Montréal, Canada** (7-11 octobre)

Colloque international sur le réexamen de la sûreté des centrales nucléaires existantes  
**Vienne, Autriche** (8-11 octobre)

**NOVEMBRE 1996**

Colloque sur l'harmonisation des mesures faites dans l'environnement à des fins sanitaires à l'aide de techniques nucléaires et isotopiques  
**Hyderabad, Inde** (4-7 novembre)

Séminaire sur l'emploi de techniques isotopiques pour l'étude de l'environnement marin  
**Athènes, Grèce** (11-22 novembre)

**AVRIL 1997**

Colloque sur le diagnostic et la prophylaxie des maladies du bétail à l'aide de techniques nucléaires et associées  
**Vienne, Autriche** (7-11 avril)

Colloque international sur l'emploi des techniques isotopiques pour l'étude de l'évolution passée et présente de l'environnement de l'hydrosphère et de l'atmosphère  
**Vienne, Autriche** (14-18 avril)

Séminaire sur la situation actuelle de la radiothérapie dans le monde  
**New York, Etats-Unis** (17-19 avril)

**MAI 1997**

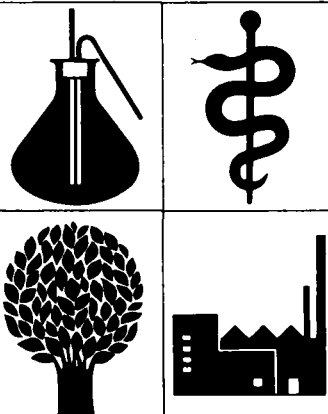
Séminaire sur le recours aux techniques nucléaires pour optimiser l'emploi des nutriments et de l'eau en vue d'améliorer la productivité agricole et de préserver l'environnement  
**Piracicaba, Brésil** (12-16 mai)

Colloque sur le dessalement de l'eau de mer à l'aide de l'énergie nucléaire  
**Taejon, République de Corée** (26-30 mai)

**JUIN 1997**

Colloque sur les stratégies relatives au cycle du combustible nucléaire et aux réacteurs — adaptation aux nouvelles réalités  
**Vienne, Autriche** (2-6 juin)

La liste ci-dessus est sélective et provisoire. Pour tous renseignements complémentaires, s'adresser à l'AIEA, Section des services de séances, ou se reporter à la publication trimestrielle de l'AIEA intitulée **Meetings on Atomic Energy** (pour passer commande, voir la rubrique *Nouvelles publications de l'AIEA*). Des précisions sur les programmes de recherche coordonnée (PRC) peuvent être obtenues à l'AIEA, auprès de la Section d'administration des contrats de recherche. Les PRC visent à faciliter la coopération mondiale dans divers domaines scientifiques et techniques, concernant aussi bien les applications médicales, agronomiques et industrielles des rayonnements que la technologie et la sûreté du secteur nucléo-électrique.



*Publication trimestrielle de la Division de l'information de l'Agence internationale de l'énergie atomique, B.P. 100, A-1400 Vienne (Autriche)*  
 Tél.: (43-1) 2060-21270  
 Télécopie: (43-1) 20607  
 Courrier électronique:  
 iaee@iaea1.iaea.or.at

**DIRECTEUR GENERAL:** M. Hans Blix  
**DIRECTEURS GENERAUX ADJOINTS:**  
 M. David Waller, M. Sueso Machi,  
 M. Victor Mourogov, M. Bruno Pellaud,  
 M. Jihui Qian, M. Morris Rosen (par interim)  
**DIRECTEUR, DIVISION DE L'INFORMATION:**  
 M. David Kyd  
**REDACTEUR EN CHEF:** M. Lothar H. Wedekind  
**SECRETAIRES DE REDACTION:**  
 M. Rodolfo Quevenco, Mme Juanita Pérez,  
 Mme Brenda Blann  
**MISE EN PAGE/CONCEPTION:**  
 Mme Hannelore Wilczek  
**RUBRIQUE ACTUALITES:**  
 Mme S. Dallalah, Mme L. Diebold,  
 Mme A.B. de Reynaud, Mme R. Spiegelberg  
**PRODUCTION:**  
 M. P. Witzig, M. R. Kelleher,  
 Mme U. Szer, M. W. Kreutzer,  
 M. G. Demal, M. A. Adler,  
 M. R. Luttenfeldner, M. F. Prochaska,  
 M. P. Patak, M. L. Nimetzki  
**SERVICES LINGUISTIQUES:**  
 M. J. Rivals  
**EDITION FRANÇAISE:** M. S. Drège, traduction;  
 Mme V. Laugier-Yamashita,  
 contrôle rédactionnel  
**EDITION ESPAGNOLE:** Equipo de Servicios de Traductores e Intérpretes (ESTI), La Havane (Cuba), traduction;  
 M. L. Herrero, contrôle rédactionnel  
**EDITION CHINOISE:** Service de traduction de la Société industrielle de l'énergie nucléaire de Chine, Beijing, traduction, impression, distribution.

*Le Bulletin de l'AIEA est distribué gratuitement à un nombre restreint de lecteurs qui s'intéressent aux activités de l'AIEA et aux utilisations pacifiques de l'énergie nucléaire. Pour bénéficier de ce service, écrire à la rédaction du Bulletin. Des extraits des textes contenus dans le Bulletin de l'AIEA peuvent être utilisés librement sous réserve d'en mentionner la source. Toutefois, un article dont l'auteur n'est pas membre du personnel de l'AIEA ne peut être reproduit qu'avec la permission de l'auteur ou de l'organisme dont il émane, sauf s'il est destiné à servir de document de travail.*

Les opinions exprimées par les auteurs des articles ou dans les publicités publiées dans le Bulletin de l'AIEA ne correspondent pas forcément à celles de l'Agence internationale de l'énergie atomique et n'engagent donc que les signataires ou les annonceurs.

**Publicité**

Les annonceurs sont priés d'adresser leur correspondance à la Division des publications de l'AIEA, Unité de la vente des publications et de la publicité, B.P. 100, A-1400 Vienne (Autriche).

<b>1957</b> Afghanistan Afrique du Sud Albanie Allemagne Argentine Australie Autriche Bélarus Brésil Bulgarie Canada Corée, République de Cuba Danemark Egypte El Salvador Espagne Etats-Unis d'Amérique Ethiopie Fédération russe France Grèce Guatemala Haïti Hongrie Inde Indonésie Islande Israël Italie Japon Maroc Monaco Myanmar Norvège Nouvelle-Zélande Pakistan Paraguay Pays-Bas Pérou Pologne Portugal République Dominicaine Roumanie Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord Saint-Siège Sri Lanka Suède Suisse Thaïlande Tunisie Turquie Ukraine Venezuela Viet Nam Yougoslavie	<b>1958</b> Belgique Cambodge Equateur Finlande Iran, Rép. islamique d' Luxembourg Mexique Philippines Soudan  <b>1959</b> Iraq  <b>1960</b> Chili Colombie Ghana Sénégal  <b>1961</b> Liban Mali Zaïre  <b>1962</b> Arabie Saoudite Libéria  <b>1963</b> Algérie Bolivie Côte d'Ivoire Jamahiriya Arabe Libyenne République Arabe Syrienne Uruguay  <b>1964</b> Cameroun Gabon Koweït Nigeria  <b>1965</b> Chypre Costa Rica Jamaïque Kenya Madagascar  <b>1966</b> Jordanie Panama  <b>1967</b> Ouganda Sierra Leone Singapour  <b>1968</b> Liechtenstein	<b>1969</b> Malaisie Niger Zambie  <b>1970</b> Irlande  <b>1972</b> Bangladesh  <b>1973</b> Mongolie  <b>1974</b> Maurice  <b>1976</b> Emirats Arabes Unis Qatar République-Unie de Tanzanie  <b>1977</b> Nicaragua  <b>1983</b> Namibie  <b>1984</b> Chine  <b>1986</b> Zimbabwe  <b>1991</b> Lettonie Lituanie  <b>1992</b> Croatie Estonie Slovénie  <b>1993</b> Arménie République slovaque République tchèque  <b>1994</b> Îles Marshall Kazakhstan l'ex-République yougoslave de Macédoine Ouzbékistan Yémen  <b>1995</b> Bosnie-Herzégovine  <b>1996</b> Géorgie
--	---	---

Dix-huit ratifications étaient nécessaires pour l'entrée en vigueur du Statut de l'AIEA. Au 29 juillet 1957, les Etats figurant en caractères gras avaient ratifié le Statut.

L'année représente l'année de l'admission de l'Etat comme membre de l'AIEA. Les Etats ne figurent pas nécessairement sous le nom qu'ils avaient à l'époque.

L'admission des Etats dont le nom apparaît en italique a été approuvée par la Conférence générale mais ne prendra effet que lorsque les instruments juridiques nécessaires auront été déposés.



L'Agence internationale de l'énergie atomique, qui est née le 29 juillet 1957, est une organisation intergouvernementale indépendante faisant partie du système des Nations Unies. Elle a son siège à Vienne (Autriche) et compte plus d'une centaine d'Etats Membres qui coopèrent pour atteindre les principaux objectifs du Statut de l'AIEA: hâter et accroître la contribution de l'énergie atomique à la paix, la santé et la prospérité dans le monde entier et s'assurer, dans la mesure de ses moyens, que l'aide fournie par elle-même ou à sa demande ou sous sa direction ou sous son contrôle n'est pas utilisée de manière à servir à des fins militaires.

Siège de l'AIEA, au Centre international de Vienne.



Until now, one of the biggest problems with reading personal exposure doses has been the size of the monitoring equipment. Which is precisely why we're introducing the Electronic Pocket Dosimeter (EPD) "MY DOSE mini™" PDM-Series.

These high-performance

dosimeters combine an easy-to-read digital display with a wide measuring range suiting a wide range of needs.

But the big news is how very small and lightweight they've become. Able to fit into any pocket and weighing just 50~90 grams,

the Aloka EPDs can go anywhere you go. Which may prove to be quite a sizable improvement, indeed.

SCIENCE AND HUMANITY

**ALOKA**

ALOKA CO., LTD.  
6-22-1 Mure, Mitaka-shi, Tokyo 181, Japan  
Telephone: (0422) 45-5111  
Facsimile: (0422) 45-4058  
Telex: 02822-344

To: 3rd Export Section  
Overseas Marketing Dept.  
Attn: N. Odaka

Model	Energy	Range	Application
PDM-101	60 keV ~	0.01 ~ 99.99 $\mu$ Sv	High sensitivity, photon
PDM-102	40 keV ~	1 ~ 9,999 $\mu$ Sv	General use, photon
PDM-173	40 keV ~	0.01 ~ 99.99 mSv	General use, photon
PDM-107	20 keV ~	1 ~ 9,999 $\mu$ Sv	Low energy, photon
PDM-303	thermal ~ fast	0.01 ~ 99.99 mSv	Neutron
ADM-102	40 keV ~	0.001 ~ 99.99 mSv	With vibration & sound alarm, photon



# Safety, convenience and a variety of styles to choose from.



PDM-107



PDM-102



PDM-173



PDM-101



PDM-303



ADM-102