

ÉCOLOGIE DE LA MER NOIRE

ÉTUDE DE LA POLLUTION DU MILIEU MARIN EN TURQUIE

SAYHAN TOPCUOGLU

La recherche scientifique fournit des réponses qui peuvent aider à protéger l'environnement de la mer Noire. Grâce à des projets soutenus par l'AIEA et par divers organes de coopération, les pays riverains de la mer Noire utilisent leurs compétences et leurs moyens pour améliorer la connaissance scientifique de la pollution chimique et radioactive locale.

La Turquie figure au nombre des pays qui participent à des études de la mer Noire liées, à divers titres, à des problèmes environnementaux, économiques et sanitaires. Le littoral de la mer Noire s'étend sur plus de 4 000 km, dont 1 400 km de côtes turques. La production halieutique du pays liée à la mer Noire s'élève annuellement à 454-500 milliers de tonnes. Le poisson pêché est constitué à plus de 80 % d'anchois, le reste étant essentiellement constitué de maquereau, de merlan, de bonite, de pomatomidés et d'autres espèces. La production de limaces de mer et de moules s'élève à environ 20 000 tonnes par an.

Dans l'ensemble de la région de la mer Noire, la consommation annuelle de poisson par adulte s'élève à environ 20 kg. La protection de la santé humaine est par conséquent la priorité absolue de l'étude scientifique des polluants présents dans le poisson et dans d'autres organismes marins comestibles. Cette étude scientifique n'est pas simple, car la pollution de l'environnement et les problèmes de santé qui en découlent dépendent de divers mécanismes. À titre d'illustration, certains tests effectués en Turquie sur des organismes marins ont

indiqué de faibles niveaux d'un polluant donné. Ce résultat ne signifie pas, cependant, que cet organisme est écologiquement sain, pas plus qu'il n'est possible de dire qu'on peut le destiner en toute sûreté à la consommation humaine sans l'analyser plus en détail pour déterminer chaque type de polluant.

Notre connaissance scientifique des problèmes liés à la pollution du milieu marin va probablement s'améliorer dans les années à venir. Les progrès de l'intégration de la biocinétique, de l'écotoxicologie et de l'analyse des risques à l'étude de l'environnement permettront, au bout du compte, de déterminer la sensibilité des populations humaines et des organismes marins aux polluants. De telles études intégrées sont menées actuellement par le Laboratoire de radioécologie du Centre de recherche nucléaire et de formation Çekmece (ÇNAEM, Turquie). Ce laboratoire a acquis une expérience considérable au fil des années, y compris grâce à sa collaboration, depuis 1970, avec le Laboratoire de l'environnement marin (LEM) de l'AIEA, situé à Monaco. Les projets de coopération technique et les programmes de recherche de l'Agence ont également profité au laboratoire. Le texte ci-après présente certaines études réalisées en Turquie sur la pollution tant radioactive que chimique de la mer Noire.

Pollution radioactive. Suite à l'accident de Tchernobyl, survenu en 1986, les radionucléides retombés en mer Noire ont été mesurés dans des échantillons de poisson chaque semaine et chaque mois pendant trois ans. Les

échantillons de poisson ont été sélectionnés parmi les espèces tant pélagiques que benthiques susceptibles d'être consommées par des humains. Des niveaux élevés d'activité gamma totale (iode 131, ruthénium 106, césium 134 et césium 137), de l'ordre de 37 à 65 Bq/kg, ont été relevés dans les échantillons de poisson en mai 1986. Les niveaux de radioactivité totale dans les échantillons de poisson ont progressivement diminué au cours des trois premiers mois. Par la suite, à l'exception du césium 137, les radionucléides imputables à l'accident de Tchernobyl n'ont plus été détectés.

Les radionucléides imputables à Tchernobyl ont également été étudiés, après l'accident, dans des échantillons de moules, de limaces de mer et de macro-algues. Les activités les plus élevées relevées pour le césium 134 et le césium 137 étaient de 142 Bq/kg et 289 Bq/kg de poids sec dans les tissus mous de moules en mai et juin 1986, respectivement. De faibles niveaux d'argent 110m ont été détectés dans des limaces de mer en 1986 et 1987. L'activité du strontium 90 était inférieure à 0,1 Bq/kg de poids sec dans tous les échantillons. Les résultats ont montré que la partie occidentale de la région turque de la mer Noire était moins contaminée que sa partie orientale.

M. Topcuoglu travaille au Laboratoire de radioécologie du Centre de recherche nucléaire et de formation Çekmece (ÇNAEM, Turquie). Adresse électronique : stopcuoglu@superonline.com.

Depuis quelque temps, l'étude des radionucléides naturels présents dans le milieu marin bénéficie d'une attention particulière. Cela s'explique par la découverte de niveaux accrus de certains radionucléides naturels provenant de l'industrie des combustibles fossiles, de l'industrie des phosphates, de l'industrie du pétrole et de l'utilisation d'engrais. Le Laboratoire de radioécologie participe à un projet de recherche de l'AIEA touchant ce domaine. Des spécialistes turcs s'emploient à mesurer les radionucléides artificiels – polonium 210, plomb 210, uranium 238, thorium 232 et potassium 40 – présents dans des échantillons de biote et de sédiments prélevés en sept endroits de la mer Noire depuis 1997. Des mesures de césium 137 artificiel ont également été réalisées.

Les résultats préliminaires ont montré que les concentrations d'uranium 238 et de polonium 210 dans les anchois étaient de l'ordre de 38 à 101 Bq/kg et 94 à 112 Bq/kg de poids sec, respectivement. Ces résultats confirment que l'essentiel de la contamination radioactive des poissons provient de radionucléides naturels, et que la contribution du césium 137 artificiel (provenant d'essais atmosphériques d'armes nucléaires et de l'accident de Tchernobyl) est négligeable (voir tableau ci-contre).

La biocinétique de l'américium 241, de l'argent 110m et du césium 137 a également été étudiée dans des moules, des berniques, des limaces de mer et des macro-algues de la mer Noire dans des conditions de laboratoire. En outre, le césium 137 présent dans les moules et les macro-algues a

été étudié dans les conditions d'une contamination de la mer Noire après l'accident de Tchernobyl. Les périodes biologiques du césium 137 présent dans les moules et les macro-algues se sont révélées être de 63 jours et 19 à 29 mois, respectivement.

Ces observations font suite aux résultats d'un programme de recherche coordonnée de l'AIEA mis en œuvre de 1993 à 1996 et concernant l'utilisation de traceurs dans l'étude des processus et de la pollution de la mer Noire. Ce programme a montré que les concentrations de radionucléides artificiels dans l'environnement de la mer Noire, bien que nettement supérieures à ce qu'elles sont dans d'autres océans de la planète, sont telles qu'aucune conséquence radiologique importante n'est à craindre pour le public*.

CONCENTRATIONS DE MÉTAUX DANS DES ÉCHANTILLONS DE BIOTE ET DE SÉDIMENTS DE LA MER NOIRE, 1997-1998

Métal	Macro-algue	Moule	Limace de mer	Anchois	Autres poissons	Sédiment
Cadmium	0,5-2,7	1,8-6,4	0,4-2,2	0,1-0,2	0,1-0,2	0,6-0,9
Cobalt	<0,05-6,5	1,8-2,9	0,2-0,3	0,2-0,3	0,2-0,4	5,2-17,2
Chrome	<0,05	2,2-7,6	0,5-0,6	0,3-0,8	0,2-0,3	22-122
Nickel	2,3-83,8	4,0-4,1	<0,01	<0,01	<0,01	2,2-69,1
Zinc	59-96	256-512	41-45	30-40	26-30	57-127
Fer	106-1 095	355-597	27-98	37-44	30-32	2,6-4,9
Manganèse	23-296	10,1-22,8	1,9-3,5	1,8-2,5	0,5-0,7	354-902
Plomb	<0,1-10,8	0,3-2,6	<0,01	<0,01	0,3-1,4	11-30
Cuivre	3,5-16,5	7,3-8,0	17-35	2,2-2,8	1,0-1,3	23-75

Notes : Les concentrations sont exprimées en microgrammes par gramme de poids sec. Les échantillons de macro-algues ont été prélevés en 1994-1995.

CONCENTRATIONS DE RADIONUCLÉIDES DANS DES ÉCHANTILLONS DE BIOTE ET DE SÉDIMENTS DU SECTEUR TURC DE LA MER NOIRE, 1997-1998

(EN BECQUERELS PAR KILOGRAMME DE POIDS SEC)

	Polonium 210	Uranium 238	Thorium 232	Césium 137
Macro-algue	9-55	<13-744	<7-305	<3-25
Moule (partie molle)	100-162	140-240	<7	<3-20
Limace de mer (partie molle)	76-141	31-179	<7	<3-22
Anchois	94-112	38-101	<7	<3-10
Autres poissons	2-7	<13-198	<7	<3-25
Sédiment	5-216	<13-63	12-36	<3-138

La Turquie a également pris une part active dans des projets régionaux et nationaux de coopération technique de l'AIEA. Un projet régional, lancé en 1995 et intitulé "Évaluation du milieu marin dans la région de la mer Noire", associe des laboratoires de Turquie et de cinq autres pays de la région. Ce projet aide les pays riverains de la mer Noire à élaborer des programmes régionaux coordonnés de surveillance des radionucléides présents dans le milieu marin et d'intervention d'urgence, et à évaluer, au moyen de traceurs radioactifs, les processus clés qui régissent le devenir de polluants de la mer Noire.

*Voir "Une mer aux fortunes changeantes : développement durable dans la région de la mer Noire", Bulletin de l'AIEA, Vol. 40, n° 3 (1998).

Un projet national de coopération technique approuvé en Turquie en 1997 vise à appliquer les techniques nucléaires à l'étude de la pollution des lacs et des océans. Des études se sont penchées sur la pollution du lac de Küçükçekmece, lac saumâtre où des chercheurs étudient les taux de sédimentation. Il est prévu d'appliquer la même technique de pièges à sédiments à l'analyse de la radioactivité des matières en sédimentation du littoral turc de la mer Noire.

Pollution chimique. Des métaux s'introduisent dans la mer Noire par l'intermédiaire des cours d'eau ou des rejets directs de déchets industriels. En outre, la pollution liée au pétrole et aux polluants atmosphériques accroît les niveaux de métaux lourds présents dans la mer Noire. De surcroît, la partie occidentale de la mer Noire a été polluée, par le passé, par des fûts de déchets chimiques rejetés de façon irresponsable par des navires étrangers.

Les concentrations de nombreux éléments mesurés dans des particules atmosphériques dans le cadre d'une étude se sont révélées deux fois plus élevées dans la partie occidentale de la mer Noire que les concentrations correspondantes mesurées dans la partie orientale. Cette même étude a également montré que l'Europe est la principale source des métaux artificiels présents dans l'atmosphère de la mer Noire.

Malgré les préoccupations croissantes que suscite la pollution de la mer Noire par les métaux, on ne dispose dans la région d'aucune donnée systématique pouvant servir à des fins d'évaluation ou de création d'une base de données. Pour combler cette lacune, le Laboratoire de radioécologie et l'Institut des sciences de la mer de l'Université d'Istanbul ont lancé, en collaboration, une étude des niveaux

de métaux mesurés dans l'environnement de la mer Noire depuis 1988. Ce projet a pour but de déterminer systématiquement les concentrations de métaux présentes dans des échantillons de macro-algues et de sédiments, et d'étudier les variations liées aux saisons et au choix des sites de prélèvement.

Dans le même temps, des études ont déterminé les concentrations de métaux dans différentes espèces de poissons de la mer Noire entre 1987 et 1989. Les résultats ont montré que, pendant les années en question, les concentrations de métaux dans les macro-algues ont progressivement augmenté dans les eaux littorales turques de la mer Noire. En revanche, les niveaux de métaux mesurés dans les poissons de la mer Noire n'ont pas changé au cours des dix dernières années. Dans le milieu marin, de nombreux métaux sont généralement liés à des matières sous forme de particules et les vitesses de dépôt sont relativement élevées. C'est la raison pour laquelle l'analyse des sédiments présente, comme indicateur des niveaux de contamination, un intérêt considérable (*voir tableau page 13*).

Les principaux polluants des eaux turques de la mer Noire sont les hydrocarbures de pétrole. La pollution par le pétrole a été la principale cause de la dégradation écologique observée entre 1970 et 1995 dans la partie occidentale de la mer Noire. Des blocs de pétrole ou de brut ont pénétré dans la mer Noire du fait des fuites et des rejets imputables aux transports maritimes, des rejets municipaux, des écoulements de rivières et des dégazages de pétroliers. Cette pollution a entraîné la mort de nombreuses mouettes et autres espèces d'oiseaux.

Dans le même temps, il est bien connu que les hydrocarbures de pétrole peuvent nuire aux organismes marins. Plus précisément, les produits pétroliers, à

faibles concentrations, peuvent freiner la croissance et la division cellulaire des phytoplanctons. À des concentrations élevées, ils peuvent entraîner un ralentissement de la division cellulaire et de la photosynthèse et, partant, la mort des algues. C'est ainsi que l'une des chaînes alimentaires (phytoplancton-zooplancton-anchois) de la mer Noire a été gravement menacée jusqu'en 1995. Cependant, cette chaîne alimentaire a progressivement récupéré après que des mesures préventives ont été appliquées par les garde-côtes turcs pour empêcher tout dégazage et tout rejet d'eaux de sentine.

Les concentrations de pesticides sont généralement plus élevées dans la partie orientale de la mer Noire que dans sa partie occidentale. Cette pollution est imputable aux applications de pesticides qui se produisent dans des habitats très divers, y compris des terres agricoles et des plantations de thé et de noisetiers. En 1974 et 1975, des résidus de pesticides ont été détectés, dans le cadre d'une étude, dans différentes espèces de poissons de la mer Noire. Il est maintenant prévu d'analyser les pesticides présents dans des espèces de poissons, de limaces de mer et de moules prélevées en différents endroits de la mer Noire entre 1997 et 1999.

Les concentrations d'azote sous forme d'ammoniac, d'orthophosphates et de détergents anioniques ont été mesurées en différents points de la mer Noire en 1997 et 1998. Les résultats indiquent généralement que le littoral de la mer Noire n'est pas eutrophique. En revanche, le taux d'eutrophisation augmente progressivement aux points chauds industriels situés à proximité d'émissaires d'évacuation d'eaux usées. Les études font également apparaître une pollution microbienne liée aux rejets urbains. □

LES BONS OUTILS ET SERVICES

LES SERVICES D'INSTRUMENTATION DE L'AIEA À L'APPUI DES APPLICATIONS NUCLÉAIRES

ANDRZEJ MARKOWICZ, MIKLOS GARDOS,
STEFAN HOLLETHONER ET STANISLAW WIERZBINSKI

Les instruments scientifiques et techniques sont un élément indispensable des activités visant à élaborer et à appliquer efficacement les techniques nucléaires et radiologiques au développement social et économique. Sans les bons outils – et la bonne formation quant à leur sûreté d'utilisation, peu de progrès pourraient être faits pour obtenir les résultats voulus.

Au cours des 50 dernières années, une gamme d'instruments et d'équipements perfectionnés a été mise au point aux fins d'applications nucléaires pacifiques. Ces outils modernes et sensibles doivent, pour fonctionner correctement, être entretenus avec soin.

Utilisant ses laboratoires de Seibersdorf (Autriche), l'AIEA aide les pays à améliorer leurs compétences et leurs infrastructures de réparation et d'entretien d'instruments nucléaires, et à concevoir et construire des instruments spécialisés ainsi que des modules électroniques qui ne sont pas disponibles dans le commerce ou doivent satisfaire des besoins particuliers. Ces instruments sont utilisés dans divers domaines, y compris la surveillance de la pollution de l'environnement, la recherche et la fabrication industrielles, la santé humaine, et la production alimentaire et agricole. Les activités de l'Agence liées à l'instrumentation nucléaire sont mises en œuvre par le Service d'instrumentation des Laboratoires de Seibersdorf, qui

collaborent avec la Section de physique de l'Agence, établie au sein du Département des sciences et applications nucléaires. Tous les projets établissent de solides liens avec des programmes de coopération technique.

Le présent article passe en revue les services et activités liés à la mise au point d'instruments nucléaires, et les activités connexes de formation et de soutien technique. L'activité du Service d'instrumentation de l'AIEA consiste à concevoir et à construire différents types de kits de formation, souvent en collaboration avec des boursiers scientifiques de pays en développement où les instruments en question seront utilisés. En outre, à l'appui des programmes de coopération technique de l'AIEA, il est organisé des cours de formation spécialisée faisant appel à des équipements essentiels pour mener à bien des projets, et un soutien technique est offert pour ce qui est de la sélection et de l'évaluation d'instruments nucléaires. Parmi les autres services proposés aux laboratoires des États Membres figurent l'offre de pièces de rechange et de documents techniques, et un service de distribution de courrier électronique permettant l'échange d'informations sur l'instrumentation nucléaire.

Ces activités répondent à d'importants besoins. L'instrumentation nucléaire est un domaine qui évolue rapidement et est fortement influencé par les progrès et

innovations technologiques, qui introduisent sur le marché des outils et des équipements améliorés et perfectionnés. Ces facteurs soulignent la nécessité de fournir un soutien technique et des services de formation pour améliorer les compétences des pays qui utilisent des applications et outils nucléaires dans le cadre de leurs programmes nationaux de développement.

CONCEPTION ET MISE AU POINT D'INSTRUMENTS

Les activités de l'AIEA consistent notamment à concevoir et à construire des instruments et des modules électroniques nécessaires à la mise en œuvre de projets dans les États Membres.

Surveillance radiologique. À l'appui de programmes mis en œuvre en Grèce, au Portugal et au Viet Nam, l'AIEA a mis au point un système de surveillance des cheminées destiné aux installations nucléaires. Ce système informatisé et monté sur chariot est conçu pour surveiller des échantillons gazeux de particules radioactives, d'iode et de gaz nobles émis par un réacteur ou toute autre installation nucléaire. Le moniteur comprend un détecteur de particules et un détecteur d'iode, tous deux placés dans une chambre d'échantillonnage compacte et blindée; un détecteur

M. Markowicz dirige le Service d'instrumentation aux Laboratoires de l'AIEA à Seibersdorf, et MM. Gardos, Hollenthoner et Wierzbinski travaillent dans ce service.

de gaz nobles monté à l'intérieur de la cheminée pour améliorer la sensibilité; une pompe à vide; un débitmètre d'air; des vannes de commande; un contrôleur logique programmable; un amplificateur; un analyseur monovoie; et des alimentations haute tension. L'ordinateur et l'imprimante peuvent être situés à 100 mètres de la cheminée.

Un ordinateur personnel est utilisé pour l'acquisition, le traitement, la présentation et l'enregistrement des données, la notification des résultats et l'émission d'avertissements et d'alarmes. Les résultats sont ou peuvent être imprimés en cas d'alarme ou de besoin. Le moniteur indique le débit d'air, la concentration de radioactivité au niveau du filtre des canaux correspondant aux particules et à l'iode, et les taux d'émission de particules radioactives, d'iode et de gaz nobles.

Surveillance écologique. À l'appui d'activités mises en œuvre dans le domaine de la surveillance de la pollution de l'environnement, il a été conçu un système de positionnement de changeur d'échantillons et de détecteur destiné à l'analyse par activation neutronique. L'analyse par activation neutronique est une technique fréquemment utilisée dans les laboratoires scientifiques, et le changeur d'échantillons veille à ce que les échantillons activés pour la mesure soient séparés et bien isolés du détecteur. Le changeur prélève les échantillons dans un compartiment de stockage (capable de contenir jusqu'à 100 échantillons) et les transporte sur une distance de 2,5 mètres avant de les placer dans un porte-échantillons rotatif situé devant un détecteur. La chambre de mesure, blindée au plomb, est

ensuite automatiquement fermée et la mesure commence. Lorsque la mesure est terminée, l'échantillon est automatiquement changé. L'ensemble de ce processus est commandé par un microprocesseur et par un programme qui permet à l'opérateur de préréglager les paramètres de mesure. Des fonctions de contrôle intégrées et des vérifications croisées permettent de s'assurer qu'aucun échantillon n'est perdu. Un système d'information en ligne maintient l'opérateur continuellement informé de l'état du système et permet de corriger les problèmes en cas de signalement d'erreur.

Le système de positionnement automatique du détecteur permet à l'opérateur de déplacer et de positionner le détecteur longitudinalement. Un programme dédié permet à l'opérateur de spécifier la séquence de mesures, par exemple la fréquence de mesure d'un échantillon à différentes distances. Cela revêt une importance particulière lors de l'étalonnage d'un système de spectrométrie gamma à des taux de comptage élevés, ce qui est souvent le cas dans l'analyse par activation neutronique.

Analyse de matières. Une méthode simple et puissante permettant d'analyser les matières environnementales, biologiques et géologiques est la spectrométrie par fluorescence X. Elle présente l'avantage de pouvoir s'appliquer facilement à des échantillons de natures très différentes et ne nécessite que peu ou pas de préparation de l'échantillon. Cette méthode est utilisée dans le monde entier pour l'analyse des matières géologiques et pour la surveillance de la pollution de l'environnement.

Ses vastes applications ont fait de la spectrométrie par

fluorescence X l'un des points forts du Service d'instrumentation de l'AIEA, qui a conçu et mis au point plusieurs systèmes de soutien, dont un changeur d'échantillons destiné à un spectromètre par fluorescence X à dispersion d'énergie basé sur un tube à rayons X haute tension. Le changeur d'échantillons peut contenir jusqu'à 12 échantillons. Lorsque le système de commande est enclenché, le changeur se place sur sa position zéro et attend de recevoir un signal de déplacement d'un analyseur multivoies. Ce signal enclenche la rotation du changeur et le déplace jusqu'à la position suivante. Chaque fois que des échantillons sont changés, l'analyseur multivoies reçoit un signal occupé. Dès que le signal disparaît, une nouvelle mesure commence. Le système signale l'achèvement d'un cycle complet par un signal occupé permanent à l'analyseur multivoies. Des affichages numériques, sur le panneau avant, informent l'opérateur de l'état du système. Le changeur d'échantillons peut facilement être adapté à d'autres spectromètres par fluorescence X dans les laboratoires nationaux d'analyse.

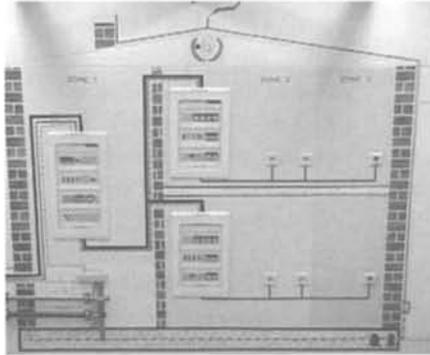
Lutte contre les insectes. La mouche méditerranéenne des fruits est l'un des insectes les plus nuisibles pour les récoltes, les économies agricoles et le commerce mondial car elle s'attaque à plus de 250 espèces de fruits et de légumes dans de nombreuses régions du monde. Une méthode efficace permettant d'éradiquer ou de combattre cette mouche, ainsi que d'autres types de ravageurs, est la technique de l'insecte stérile, qui est utilisée dans le cadre de campagnes intégrées d'éradication couvrant de vastes zones. Les mouches sont élevées en masse en laboratoire

puis irradiées par des rayonnements gamma, ce qui les stérilise tout en les laissant sexuellement actives. L'accouplement des mâles relâchés avec des insectes femelles est infructueux, ce qui supprime la population d'insectes dans le temps, de plus en plus de mâles stériles étant élevés et relâchés dans la zone d'éradication. Cette méthode a été utilisée avec succès dans de nombreuses parties du monde contre la mouche méditerranéenne des fruits, y compris au Chili, au Mexique et aux États-Unis.

À des fins de contrôle de la qualité et de rendement, l'AIEA a mis au point un trieur de pupes de mouche méditerranéenne des fruits utilisable dans leur élevage en laboratoire. Il trie et compte un échantillon de pupes en fonction de leur couleur (brun pour les mâles et blanc pour les femelles). Ce trieur se compose d'un système électromécanique et d'un compresseur portable. Jusqu'à 1 000 pupes peuvent être versées dans le bac d'alimentation en forme de bol. À mesure que les pupes s'approchent lentement du bord du bac, un capteur détecte leur couleur et active un jet d'air conçu pour souffler de côté les pupes blanches, séparant les mâles des femelles. Les pupes brunes et blanches peuvent alors être recueillies séparément et comptées avant d'être évaluées de façon plus poussée.

Dosimétrie des rayonnements.

Les instruments qui mesurent précisément les doses de rayonnement sont d'importants outils industriels et médicaux modernes faisant appel à des techniques nucléaires et



radiologiques. Le Service de dosimétrie des Laboratoires de Seibersdorf exploite un système de mesure de doses élevées utilisant l'alanine comme dosimètre de transfert, pour lequel le Service d'instrumentation a conçu un équipement spécial d'étalonnage conformément à des spécifications précises. L'étalonnage doit s'effectuer dans un radiateur Gammacell au cobalt 60 à différentes températures stables et contrôlées. La durée de l'irradiation est relativement élevée (jusqu'à quelques jours), et plusieurs dosimètres peuvent être placés dans la chambre et irradiés simultanément.

OUTILS, COURS ET KITS DE FORMATION

On ne saurait sous-estimer la nécessité d'une formation à la maintenance, à la réparation et à la conception d'instruments nucléaires. Il faut concevoir des

cours et du matériel de formation tenant compte des progrès technologiques qui ont eu lieu dans le domaine de l'électronique et des besoins en instrumentation des centres de recherche scientifique et nucléaire des pays en développement. Des outils et kits de formation ont été conçus à plusieurs fins.

Conditionnement de l'alimentation électrique. Une alimentation électrique ininterrompue est indispensable au bon fonctionnement d'instruments nucléaires et électroniques dans les pays en développement. Globalement, environ la moitié des dommages causés à des instruments est due à des perturbations de l'alimentation électrique : il est donc impératif de prendre des mesures de protection. Le Service d'instrumentation a mis au point une cloison électrique de démonstration visant deux objectifs :

- décrire l'alimentation électrique d'un bâtiment de laboratoire typique; les différents systèmes de mise à la terre et la construction de paratonnerres;

Photos : en haut, des spécialistes des Laboratoires de l'AIEA réparent des modules électroniques à des postes de travail. En bas à gauche, panneau avant d'une cloison de formation au conditionnement de l'alimentation électrique; à droite, gros plan du trieur de pupes de mouche méditerranéenne des fruits. (Crédits : Laboratoires de Seibersdorf; Crédit : Calma/AIEA)

l'installation de la triple protection et du système équipotentiel de mise à la terre; et la construction d'installations élémentaires de mise à la terre.

■ réaliser des exercices sur différents systèmes de mise à la terre; et enseigner le fonctionnement de la protection contre les surtensions.

La cloison de formation est fixée sur une vaste plaque de contre-plaqué, dont l'avant montre la section d'un bâtiment et les raccordements électriques depuis un transformateur extérieur ainsi que le câblage interne entre les cartes de distribution. Ces dernières, les lignes équipotentielles et la triple protection contre les surtensions sont représentées à l'aide de composants réels.

Postes de travail et outils de réparation de modules électroniques.

Les laboratoires sont de plus en plus équipés d'instruments numériques et électroniques composant ce qu'on appelle la technologie SMT (surface mounted technology). L'entretien et la réparation de ces instruments est une tâche difficile qui requiert un ensemble spécifique d'outils, y compris de puissants microscopes. Le Service d'instrumentation a adapté des instruments aux fins de la formation à la réparation de modules et d'équipements SMT. Ces instruments sont notamment des instruments d'assemblage et de réparation simples; un poste de soudage équipé de fiches de soudage spéciales; et des postes de reprise à infrarouges. L'un des postes de reprise – qui peut être utilisé efficacement par un opérateur inexpérimenté – est un outil semi-automatique faisant appel à des émetteurs infrarouges sombres pour faire fondre la soudure. L'élément est d'abord pointé à l'aide d'un faisceau laser,

la soudure fondue aux infrarouges, puis l'élément est trempé à l'aide d'une pompe à vide.

L'Agence a également mis au point des kits de formation à la surveillance et au contrôle des alimentations électriques. Ces kits de formation ont été soit intégralement conçus et construits aux Laboratoires de l'AIEA, soit simplement adaptés à partir de kits d'évaluation disponibles dans le commerce. Ils sont non seulement utilisés dans le cadre du programme de formation dispensé aux Laboratoires de Seibersdorf, mais également prêtés à l'appui d'activités de formation mises en œuvre dans des pays en développement.

Cours de formation. Le Service d'instrumentation organise, sur six mois, un cours annuel de formation de boursiers à la maintenance d'instruments de spectroscopie nucléaire. Sont traités les points suivants : principes de détection des rayonnements; caractéristiques des systèmes de spectrométrie; dosimétrie et radioprotection; conditionnement de l'alimentation électrique; mesures électriques; fondements d'électronique numérique; microprocesseurs; alimentations électriques; traitement des signaux analogiques; analyseurs multivoies; interfaces standard; dépannage d'ordinateurs; et cartes spéciales d'ordinateur.

En outre, le Service organise des stages de formation individuels sur le tas portant sur la réparation et la conception d'instruments nucléaires, l'interface d'ordinateurs, les applications des microprocesseurs et le conditionnement des alimentations électriques.

D'autres activités visent notamment à faciliter l'organisation de cours et d'ateliers régionaux ou nationaux de

formation. De telles activités ont été organisées, par exemple, en Égypte, au Ghana, en Zambie, au Maroc, au Kenya, aux Philippines, en Jordanie, en Tunisie et en Éthiopie.

SOUTIEN TECHNIQUE AUX PAYS

L'un des principaux objectifs du soutien technique offert en matière d'instrumentation nucléaire consiste à aider les laboratoires scientifiques et les centres de recherche des pays en développement.

Dans le cadre d'un projet régional et de plusieurs projets nationaux de coopération technique, des pièces de rechange et des documents techniques sont fournis à 18 pays d'Afrique. Un soutien est également accordé en matière d'évaluation et de sélection d'instruments, dans le cadre tant de projets de coopération technique que d'autres programmes de l'AIEA. Ces dernières années, l'Agence a évalué des équipements aux fins des garanties et à l'appui de projets exécutés en Syrie, au Liban et en Zambie.

Dans le cadre d'une autre initiative, des informations techniques, des mises à jour et des conseils relatifs à l'instrumentation nucléaire sont distribués à des pays africains par messagerie électronique. Ce service a vu le jour à la suite de discussions tenues lors d'un Atelier régional sur les stratégies de maintenance des équipements scientifiques organisé à Khartoum (Soudan) en avril 1996. Actuellement, près de 50 participants d'Afrique (et d'autres régions) sont inscrits au service de distribution électronique, échangeant des données d'expérience et des informations qui profitent à leurs diverses applications des instruments nucléaires. □

PRODUCTION D'URANIUM: UN COLLOQUE INTERNATIONAL EXAMINE LES PROBLÈMES CLÉS

Selon les experts mondiaux, l'offre d'uranium destiné aux centrales nucléaires devrait rester stable. Telle est la conclusion du Colloque international sur le cycle de production d'uranium et l'environnement organisé du 2 au 6 octobre 2000 à l'AIEA (Vienne). Ont participé à cette réunion des spécialistes d'une quarantaine de pays, l'Agence arabe de l'énergie atomique, la Commission européenne, l'Agence de l'énergie atomique de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE), l'Office of Supervising Scientist, Environment (Australie), l'Organisation des Nations Unies, l'Institut de l'uranium, la Banque mondiale, le Conseil mondial de l'énergie et l'Institut de l'énergie nucléaire.

Les exposés présentés ont souligné que les ressources connues en uranium, qui sont de 4 millions de tonnes, devraient durer environ 65 ans au rythme actuel de consommation et sans retraitement. Les ressources potentielles estimées, non encore découvertes – 16 millions de tonnes – porteraient cette durée à environ 300 ans. Cependant, d'importantes activités de prospection sont nécessaires pour découvrir et convertir ces ressources en réserves. Au cours de la décennie écoulée, la production d'uranium déclarée est restée stable, à quelque 35 000 tonnes par an, 50 % environ provenant d'Australie et du Canada. Dans ces deux pays, les opérations ont débuté en 1999 : gisement à forte teneur de la rivière McArthur au Canada, avec une production escomptée de 4 200 tonnes en 2000 ; autorisation d'exploiter

le gisement à faible teneur de Beverly en Australie. En 1999, le prix sur place de l'uranium a continué de chuter et demeure faible.

Une grande attention a également été portée aux mesures à prendre pour assurer à long terme l'offre d'uranium nécessaire aux programmes électronucléaires compte tenu des préoccupations environnementales et sanitaires liées à la production de ce minerai.

Un autre point important des discussions a été la nécessité d'accroître la participation locale à la planification et au contrôle des opérations de production d'uranium. Ont également été présentées les perspectives de l'offre d'uranium d'ici à 2050 ainsi que plusieurs mines et usines de traitement utilisant des techniques améliorées et innovantes pour accroître le rendement tout en satisfaisant aux normes environnementales rigoureuses en vigueur dans de nombreux pays. On a examiné la façon dont l'évaluation de l'impact sur l'environnement est utilisée en Australie, au Canada et aux États-Unis pour planifier et autoriser des projets actuels.

De l'avis général, l'extraction de l'uranium ne diffère pas des autres activités d'extraction. Or, les projets actuels d'extraction d'uranium sont soumis à un contrôle et à une réglementation plus rigoureux que les autres projets. Cela est principalement dû aux craintes qu'éprouve le public face à d'éventuels risques de rayonnements. Certaines installations de production d'uranium se sont distinguées comme figurant parmi les plus avancées

écologiquement et les plus sûres du secteur de l'extraction. Elles produisent depuis plusieurs années, notamment en Afrique, en Australie, au Canada et aux États-Unis, de l'uranium sans jamais provoquer d'accidents entraînant des arrêts de travail ou en n'ayant que peu ou pas d'impact sur l'environnement local. □

ANALYSE DU MARCHÉ MONDIAL

La dernière analyse en date du marché mondial de l'uranium a été publiée conjointement en 2000 par l'AIEA et par l'Agence de l'énergie atomique de l'OCDE. Cette analyse, intitulée "Livre rouge", s'appuie sur des informations officielles communiquées par 49 pays, y compris des informations récentes provenant d'importants centres de production ou de traitement d'Afrique, d'Australie, d'Europe orientale et d'Amérique du Nord. Bon de commande : site Internet de l'AEN à l'adresse www.nea.fr.

