

VOL. 42, Nr. 1, 2000
VIENNE, AUTRICHE

AIEA

BULLETIN



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

**FOR ATOMS
PEACE**

TECHNOLOGIE TRANSFER

TRANSFERT DE TECHNOLOGIE

TRANSFERENCIA DE TECNOLOGIA

ПЕРЕДАЧА ТЕХНОЛОГИИ

技术转让

نقل التكنولوجيا

ENQUETE AUPRES DES

LECTEURS

MERCI DE VOTRE AIDE

Nous remercions toutes les personnes qui ont répondu à l'enquête approfondie que nous avons effectuée l'an dernier auprès des lecteurs du Bulletin de l'AIEA. Cette enquête nous sera utile pour actualiser notre liste de diffusion et définir nos futures orientations éditoriales. Nous avons reçu un excellent écho de milliers de destinataires du monde entier et traitons maintenant vos réponses. Dans les mois à venir, nous vous rendrons compte des résultats de l'enquête. Nous vous sommes reconnaissants d'avoir pris le temps de répondre au questionnaire et tiendrons compte de votre avis quant à la façon dont nous pourrions mieux encore vous servir à l'avenir.

— La rédaction





SOMMAIRE

L'ATOME AU SERVICE DE LA PAIX

À la recherche de résultats par la coopération technique
Qian Jihui, Thomas Tissue et Alex Volkoff

2

LES PILIERS DU DÉVELOPPEMENT

Transfert de technologie par l'AIEA: faits et tendances
Paulo Barretto et Alexander Rogov

8

DES PARTENARIATS POUR L'EAU

Des projets régionaux de l'AIEA en faveur de l'Afrique mettent en valeur les compétences
Ali Boussaha et Royal F. Kastens

17

DOMAINES DE PROGRÈS

Techniques nucléaires et sécurité alimentaire
James Dargie

23

DES AVANTAGES DURABLES

Nucléaire et soins de santé
Steffen Groth

33

DES POSSIBILITÉS DE PLUS EN PLUS VASTES

Plasmas & accélérateurs au service du développement
Thomas Dolan, Stjepko Fazinic, C.U. Rosengard et Ursula Schneider

41

UNE PERCÉE POSSIBLE

Création de zones exemptes de mouches tsé-tsé en Afrique subsaharienne :
point de vue sur un défi
Qian Jihui et Thomas Tissue

47

RUBRIQUES DU BULLETIN DE L'AIEA

Actualités internationales...Données statistiques...Vacances de
postes...Publications...Réunions...PRC/Séminaires

51

L'ATOME AU SERVICE DE LA PAIX

À LA RECHERCHE DE RÉSULTATS PAR LA COOPÉRATION TECHNIQUE

QIAN JIHUI, THOMAS TISUE ET ALEX VOLKOFF

"La façon dont l'assistance technique est proposée ... doit être revue de façon critique. L'assistance technique telle qu'elle était conçue à l'origine avait pour objet de combler le fossé qui existe qui existe sur le plan technique entre les pays industriels et les pays en développement en accélérant le transfert de connaissances, de compétences et de savoir-faire, développant ainsi l'infrastructure nationale. C'est ce qui s'est produit dans certains cas. Dans d'autres, en revanche, l'assistance technique a eu précisément l'effet inverse, freinant ce développement au lieu de le déclencher. On constate qu'aujourd'hui, après plus de 40 ans d'exécution de programmes d'assistance technique [en Afrique], 90% des 12 milliards de dollars dépensés chaque année au titre de l'assistance technique continuent d'être consacrés à l'aide spécialisée étrangère, alors qu'on dispose maintenant, dans de nombreux domaines, d'experts nationaux". – Kofi Annan, Secrétaire général de l'Organisation des Nations Unies.

Comme suite à la déclaration sans ambiguïté faite par le Secrétaire général lors de l'Assemblée générale de 1998, de nombreux prestataires d'assistance technique ont réexaminé soigneusement la

** "Les causes des conflits et la promotion d'une paix et d'un développement durables en Afrique", Rapport du Secrétaire général (publié par l'AIEA sous la cote GOV/INF/1992/2, février 1999).*

forme et l'impact de leurs programmes. L'AIEA n'a pas fait exception à la règle. Après plus de 40 ans d'assistance, avons-nous contribué à combler le fossé technologique ? Avons-nous favorisé le développement national ? Et quels enseignements avons-nous tirés pour assurer la réussite de nos programmes à l'avenir ? Le présent article se penche sur ces questions en examinant les phases clés du Programme de coopération technique de l'AIEA.

PHASE I : DÉVELOPPEMENT INITIAL – MISE EN PLACE DE MOYENS

Au cours des quatre décennies écoulées, l'AIEA a aidé à transférer, à des fins pacifiques, des techniques nucléaires et apparentées vers des pays du monde entier. Pendant cette période, l'Agence a planifié et exécuté dans de nombreux domaines, y compris l'énergie, la sûreté, l'agriculture, l'industrie, la médecine, l'eau et l'étude de l'environnement, des projets représentant un montant global supérieur à 800 millions de dollars.

L'évolution du Programme de coopération technique a été saisissante. En 1958, peu de pays étaient dotés d'une industrie nucléaire. Cette année-là, l'AIEA a commencé à offrir une assistance

technique en proposant plusieurs bourses d'étude suivies, l'année d'après, d'équipements et d'experts. Pendant ces premières années, l'AIEA mettait en œuvre des programmes de coopération technique dans à peine plus de 40 pays et décaissait annuellement moins de 2 millions de dollars. La plupart des projets avaient pour but de développer les moyens scientifiques et techniques et l'infrastructure de soutien.

Aujourd'hui, toutes les régions disposent d'industries nucléaires. L'Agence met en œuvre des programmes dans près de 100 pays, décaisse environ 65 millions de dollars par an et peut utiliser les moyens mis en place précédemment comme tremplin pour poursuivre ses activités de développement. Le but, désormais, consiste à faciliter directement, d'une manière visible et nette, la réalisation d'objectifs prioritaires de développement dans divers pays et diverses régions.

Dès le début, le Programme d'assistance technique de l'AIEA a opéré dans des conditions uniques au sein du système des Nations Unies. L'AIEA s'est développée parallèlement à la technologie que ses programmes promeuvent ; son histoire recouvre, pour ainsi dire, l'ère nucléaire. De ce fait, l'AIEA a joué un rôle essentiel dans le déploiement et, parfois, le développement des sciences et techniques nucléaires dans le

M. Qian est directeur général adjoint et chef du Département de la coopération technique de l'AIEA. M. Tisue est chef adjoint de la Section d'évaluation de ce département, et Mme Volkoff est directeur de la Division de la planification, de la coordination et de l'évaluation.

monde. Pour le Programme de coopération technique, cela a représenté un environnement à la fois difficile et favorable.

L'AIEA a occupé une place unique au sein du système des Nations Unies pour une autre raison : le transfert de technologie – auquel le Programme de coopération technique contribue de façon déterminante – a évolué parallèlement à l'autre but initial de l'Agence, qui consiste à appliquer des garanties destinées à assurer l'utilisation pacifique de l'énergie nucléaire. La décision prise par les États membres de maintenir un équilibre entre le soutien aux activités d'application des garanties, d'une part, et le transfert de technologie, d'autre part, a aidé à assurer un financement relativement prévisible du Programme de coopération technique, en particulier pendant la phase initiale. Ce financement s'effectuant sur une base volontaire et la concurrence pour l'obtention de fonds dans le domaine de la coopération pour le développement international étant rude, ce degré de prévisibilité a permis de produire des effets cumulés qui n'auraient pas été réalisables avec des engagements à court terme.

On notera également que pendant la phase initiale du Programme, l'attitude internationale vis-à-vis des utilisations pacifiques de l'énergie nucléaire a été marquée par un enthousiasme quant aux possibilités que celle-ci offrait. De nombreux pays tenaient à jeter les fondements permettant d'utiliser cette nouvelle technologie dans différents domaines, qu'il s'agisse de production d'électricité ou d'autres applications. Simultanément, la plupart d'entre eux se heurtaient à une obstacle important : l'absence d'infrastructure, en particulier le

UNE NOUVELLE STRATÉGIE DE COOPÉRATION TECHNIQUE POUR L'AIEA

La nouvelle stratégie de coopération technique de l'AIEA comprend trois éléments principaux:

■ **Projets modèles:** les projets modèles fixent des normes rigoureuses de conception des projets pour faire en sorte qu'ils répondent aux besoins réels d'un pays, aient un impact économique ou social significatif par l'intermédiaire de l'utilisateur final, reflètent les avantages distincts de la technologie nucléaire par rapport à d'autres solutions et bénéficient d'un ferme engagement des pouvoirs publics.

■ **Aperçus de programme de pays:** les aperçus de programme de pays aident à axer, avec les pays, l'activité du Programme de coopération technique de l'AIEA sur quelques domaines prioritaires susceptibles de produire des résultats significatifs.

■ **Plans thématiques/sectoriels:** les plans thématiques recensent les meilleurs pratiques dans un domaine donné, évaluent les techniques nucléaires par rapport à des techniques traditionnelles ou prometteuses, étudient les conditions à remplir dans un pays pour que des activités menées dans un domaine produisent un effet, et recensent d'autres partenaires opérant dans le domaine en question.

manque de main d'œuvre spécialisée dans ce domaine.

Bien que le mérite de la mise en place des moyens et, parfois, du développement d'une importante industrie nucléaire revienne, pour l'essentiel, aux pays eux-mêmes, l'Agence a apporté, tout au long du chemin, une contribution essentielle. Celle-ci a revêtu de nombreuses formes : offre d'avis d'experts aux gouvernements qui envisageaient de créer un centre de radiothérapie ; fourniture d'équipements essentiels à un laboratoire chargé d'analyser les polluants présents dans les aliments ou dans l'environnement ; formation à l'exploitation, à la maintenance et à la sûreté des centrales nucléaires ou aux procédures de contrôle de la qualité ; et offre de bourses d'étude dans des domaines aussi divers que la physique médicale et l'hydrologie isotopique.

Parfois, il suffisait que l'Agence donne l'assurance qu'un projet était réalisable ou qu'une technique nucléaire donnée était appropriée pour qu'un gouvernement procède seul.

Un élément essentiel, pendant cette phase initiale, a été l'accent

placé sur la mise en valeur des ressources humaines. L'AIEA a longtemps insisté, dans son Programme de coopération technique, sur l'autosuffisance, l'investissement dans le capital humain se situant au cœur du développement durable. Entre 1958 et 1988, l'AIEA a formé plus de 10 000 boursiers. Nombre de ces boursiers occupent maintenant dans leur pays une place de premier rang dans leur spécialité. De même, nombre des pays qui ont bénéficié du Programme à l'origine commencent maintenant à proposer leurs services et leurs experts dans le domaine nucléaire.

Parmi d'autres indicateurs de la réussite de cette phase initiale de développement des infrastructures, on peut citer:

■ le nombre sans cesse croissant de laboratoires produisant des publications collégiales et participant à des colloques internationaux;

■ le nombre croissant d'experts nationaux et régionaux, plutôt que d'experts des pays donateurs traditionnels, auxquels il est fait appel pour exécuter des projets;

■ l'aptitude d'un grand nombre de pays à produire au niveau

national des radio-isotopes et des radiopharmaceutiques;

■ la qualification ou la certification de praticiens dans des domaines tels que les essais non destructifs et la radioprotection.

Les résultats de cette phase initiale de développement des infrastructures montrent que l'AIEA n'est pas tombée dans le piège "paternaliste" évoqué par le Secrétaire général. L'Agence a effectivement contribué à combler le fossé technique qui séparait les pays industriels des pays en développement et a effectivement aidé à développer les infrastructures nationales. De surcroît, l'apparition de pôles d'expertise dans toutes les régions a permis à l'Agence de développer encore son activité de coopération technique.

PHASE II : DÉPLACEMENT D'ACCENT – LIAISON AVEC DES PARTENAIRES POUR LE DÉVELOPPEMENT

Au début des années 90, l'Agence a pris conscience du fait que son Programme de coopération technique devait aller au delà du simple développement d'infrastructures. Cela avait été à la fois nécessaire et recherché pendant les premiers jours du Programme, mais trente ans plus tard, l'environnement dans lequel l'Agence proposait une coopération technique avait changé.

À l'aube de la décennie, certains États membres qui avaient bénéficié du Programme étaient dotés d'industries nucléaires perfectionnées ; d'autres disposaient de structures de recherches bien établies. Dans le même temps, l'enthousiasme manifesté les premiers jours pour le potentiel offert par l'énergie

nucléaire était tempéré dans de nombreux pays par la crainte des accidents et par les problèmes de gestion des déchets.

Heureusement, malgré la pression croissante qui pèse sur les budgets consacrés au développement dans le monde, le désir de maintenir, au sein du budget de l'Agence, un équilibre entre les différents objectifs a perduré. Cette position a été confirmée une nouvelle fois vers le milieu de la décennie par les décisions prises lors de la Conférence des Parties au Traité sur la non-prolifération des armes nucléaires (TNP) chargée d'examiner le traité et la question de sa prorogation. Le financement du Programme, s'il est devenu moins prévisible, n'a cependant pas souffert des réductions importantes subies par de nombreux autres programmes des Nations Unies.

Cet environnement a abouti à la prise de conscience de la nécessité d'une nouvelle stratégie de coopération technique. Le Programme devait être axé moins sur l'offre et davantage sur la demande, et lié plus étroitement aux intérêts vitaux des États membres. Après des décennies de développement réussi d'infrastructures, l'AIEA était prête pour l'étape logique suivante : aider les pays à utiliser ces infrastructures pour répondre à leurs besoins de développement durable.

On notera que pendant cette deuxième phase, l'Agence n'a pas abandonné le développement d'infrastructures ; le Programme de coopération technique a continué de former des gens et de fournir des experts et des équipements qui ont tous contribué à ce développement. Ce qui a changé, c'est l'orientation principale du Programme, qui a commencé à se pencher davantage sur les problèmes à résoudre dans le domaine des techniques

nucléaires, plutôt que sur les techniques proprement dites.

La nouvelle stratégie a été officiellement approuvée par le Conseil des gouverneurs en 1997, mais ses éléments n'ont commencé à faire leur apparition qu'après 1994 (*voir encadré*).

Le concept fondamental de la nouvelle démarche s'est incarné dans le slogan "Partenaires pour le développement". La nouvelle stratégie ayant pour objet de favoriser la transition d'un programme d'assistance mû par la technologie vers un programme axé sur la résolution de problèmes, de nouveaux partenariats devaient être créés avec les pays qui rencontraient effectivement des problèmes. Il s'agissait des utilisateurs finals des techniques nucléaires, principaux liens de la chaîne reliant les correspondants nationaux à l'ultime bénéficiaire, à savoir le grand public. Dans le domaine de l'hydrologie, par exemple, le correspondant pourrait être le centre national de recherche, mais l'utilisateur final serait la compagnie nationale des eaux et ses équipes sur le terrain. L'ultime bénéficiaire est le consommateur d'eau.

Pendant la seconde moitié des années 90, d'importants efforts ont été déployés pour aider les instances de recherche nucléaire à prendre contact avec les ministères traditionnels chargés du développement tels ceux de la santé, de l'agriculture, des ressources naturelles et de l'environnement, ainsi qu'avec les responsables financiers des commissions centrales de planification et des ministères des finances. C'est généralement par ces intermédiaires que l'on accède le plus rapidement aux utilisateurs finals – professionnels de santé et prestataires de services spécialisés, par exemple – susceptibles de présenter un intérêt socio-économique tangible pour le public et pour l'économie.

Pendant cette même période, l'Agence s'est également efforcée d'instituer un type différent de partenariat, à savoir un partenariat avec les organisations de financement du développement et de coopération pour le développement. L'accent étant placé sur la résolution de problèmes, il est devenu logiquement nécessaire de collaborer avec d'autres entités travaillant de leur propre façon sur les mêmes problèmes. De cette façon, l'Agence pourrait non seulement aider directement ses États membres, mais aussi optimiser les investissements d'autres partenaires.

L'Agence a utilisé, par exemple, des techniques nucléaires pour aider à évaluer, au Sénégal, l'impact d'un important projet local de promotion de la nutrition financé par la Banque mondiale, le Programme alimentaire mondial et l'Allemagne. L'aptitude de l'Agence à cartographier les formations aquifères au moyen de radio-isotopes a également aidé de nombreuses organisations à œuvrer, avec des gouvernements, à la résolution de problèmes de gestion des eaux.

Un troisième type de partenariat – essentiel au concept d'une assistance internationale restructurée avancé par le Secrétaire général – a également été encouragé pendant cette période dans le cadre de la stratégie de coopération technique. Il s'agit d'un partenariat entre organisations au sein d'États membres ou d'une coopération technique entre pays en développement (CTPD). Grâce notamment aux succès obtenus par l'Agence pendant la Phase I, certains des pays en développement les plus avancés disposent, dans le domaine nucléaire, d'un savoir-faire et d'établissements qui n'ont rien à envier, à divers égards, à ceux de pays développés. La solution a



consisté à encourager l'institution de partenariats entre ces pays, et entre ceux-ci et les pays les moins avancés. Les mécanismes les plus réussis créés par l'Agence pour stimuler la CTPD ont sans aucun doute été les accords régionaux de coopération conclus en Asie et dans le Pacifique, en Afrique et en Amérique latine.

Les résultats de la stratégie de coopération technique et le développement de ces différents niveaux et types de partenariat ont été significatifs. En raison de l'accent placé sur la résolution de problèmes, le Programme de coopération technique a, plus que jamais auparavant, attiré l'attention des responsables tant au sein des États membres que d'autres organisations internationales. Alors que par le passé, l'Agence était principalement reconnue pour ses connaissances et compétences techniques, elle est aussi, à la fin des années 90, de plus en plus considérée comme un partenaire précieux pour le développement. Les bailleurs de fonds qui éprouvaient toujours l'obligation morale d'engager des ressources au titre du transfert de technologie pour contrebalancer les autres activités de l'Agence ont pris conscience du fait que le Programme de coopération technique pouvait directement contribuer aussi bien à la sûreté qu'au développement et, partant, à la stabilité et à la sécurité.

PHASE III : CONSOLIDATION DES ACTIVITÉS – PROGRAMMATION CIBLÉE

Le siècle qui a vu la naissance de la science nucléaire étant maintenant révolu, l'Agence a une nouvelle fois affiné sa conception du transfert de technologie. De nombreux facteurs modifient la façon dont l'AIEA et ses États membres envisagent la coopération technique, notamment:

- le comblement de l'écart des connaissances entre pays développés et en développement ;
- la mondialisation du transfert de l'information par voie électronique;
- la maturation (parfois la sénescence) de la technologie nucléaire;
- les scénarios de financement en croissance nominale nulle ;
- l'accent plus prononcé placé sur une gestion axée sur les résultats par les États membres tant bailleurs de fonds que bénéficiaires, désireux d'obtenir de leurs investissements des résultats tangibles;
- les exigences croissantes de transparence et de responsabilité.

Photo : En Afrique, la production végétale augmente grâce à des projets financés par l'AIEA.



Du fait de ces facteurs, l'Agence doit consacrer ses fonds limités de coopération technique à une gamme de projets de plus en plus ciblés, en gardant à l'esprit ce que d'autres peuvent fournir. Compte tenu de ce que nous avons appris et de ce que nous avons construit au cours des 40 dernières années, la phase logique suivante, en matière de coopération technique, est la "programmation ciblée". Les questions qu'il faut poser, dans ce contexte, sont :

■ Comment fixer et respecter au mieux, pour le programme, de strictes priorités ?

■ En quoi le rôle de l'Agence en matière de transfert de technologie a-t-il changé ? De récentes discussions engagées au sein du Secrétariat et avec les États membres commencent à fournir quelques réponses.

Fixation de priorités. C'est un lieu commun de dire que les priorités des États membres sont celles de l'Agence. L'AIEA ne songerait certes pas à lancer un programme de coopération technique qui serait déphasé par rapport aux souhaits des États membres ou à son propre mandat. La fixation des priorités, c'est évident, doit au moins tenir compte des éléments suivants : les

domaines de compétence relevant du mandat statutaire de l'Agence ; les thèmes spécifiés par le Conseil des gouverneurs ou la Conférence générale de l'AIEA ; et les besoins les plus pressants des États membres en matière de développement durable.

Nos compétences de base sont faciles à définir : l'Agence est le premier organisme auquel les États membres s'adressent pour ce qui a trait aux normes de sûreté nucléaire, à la radioprotection ou aux principaux problèmes que pose la création d'une industrie électronucléaire. En dehors de ces compétences, cependant, il n'est pas toujours simple de déterminer les besoins des États membres. Il est facile de provoquer une demande apparente dans un domaine particulier en laissant entendre qu'il existe, pour celui-ci, des financements. Il serait plus fiable, pour fixer des priorités, d'utiliser les résultats d'au moins trois types d'analyse.

Premièrement, où les gouvernements placent-ils l'argent qu'ils possèdent ou empruntent ? En analysant la répartition des dépenses des gouvernements, l'Agence peut se faire une idée précise de leurs principaux intérêts. En liant des projets de coopération technique à des programmes nationaux existants d'investissement dans le développement durable, l'Agence peut démultiplier l'effet de ses

ressources relativement modestes et préserver l'intérêt qu'a le gouvernement à collaborer avec elle. L'étude de la répartition des dépenses et des possibilités d'établissement de liens est l'une des nouvelles raisons d'être des aperçus de programme de pays.

Deuxièmement, en matière de fixation de priorités, rien ne vaut l'expérience. Quarante ans de projets de coopération technique permettent de se faire une idée précise de ce qui marche ou ne marche pas, et des activités – tels que l'hydrologie et la technique de l'insecte stérile – qui aident le plus à atteindre les objectifs du développement durable. Les projets de coopération technique doivent produire un effet réel, et non présumé. La fixation de priorités fondée sur des données scientifiques est l'une des meilleures façons d'opérer une programmation ciblée, car elle permet de saisir les bonnes occasions et d'éviter les impasses. De plus, elle est pleinement conforme aux principes d'une gestion fondée sur les résultats.

Troisièmement, en l'absence de données pragmatiques, la fixation de priorités doit se fonder sur les résultats d'analyses rigoureuses de faisabilité et de rendement tenant compte de la situation locale. Dire que l'on pourrait obtenir un effet significatif ne suffit pas. Il faut procéder à des analyses afin d'obtenir la certitude raisonnable que l'on peut obtenir et que l'on obtiendra un effet tangible compte dûment tenu des risques et suppositions concomitants. Il faut notamment effectuer une analyse comparative des solutions non nucléaires et démontrer clairement les avantages des techniques nucléaires.

Ces principes s'appliquent de la même façon aux activités menées au titre du budget ordinaire de l'AIEA. Les données accumulées au cours des années par le Programme de coopération

Photo : En Amérique latine, des spécialistes utilisent des isotopes dans le cadre d'études hydrologiques.

technique sont précieuses pour établir de façon empirique – et concrète – à quelles activités l'Agence devrait consacrer ses ressources. Inversement, il incombe à l'Agence de réduire l'accent qu'elle place sur les activités qui se sont révélés produire moins d'effets. On obtient une synergie en établissant un ensemble de priorités communes à la fois au budget ordinaire et au Programme de coopération technique. Tous deux doivent être liés aux investissements opérés par les gouvernements dans le développement durable, et tous deux doivent être jugés sur les résultats concrets obtenus dans les États membres.

Un nouveau rôle dévolu à l'AIEA en matière de transfert de technologie. Alors qu'il y a 40 ans, l'Agence était l'une des rares organisations disposant des compétences et des moyens requis pour transférer les techniques nucléaires, des pôles d'expertise existent maintenant dans chaque région.

L'AIEA a longtemps fait office d'important centre d'information technique pour ses homologues. Ce rôle devrait se poursuivre, mais dans de nombreux cas, il serait souhaitable que l'Agence prenne du recul et joue davantage un rôle de facilitation ou de contrôle. Pour cette phase de coopération technique, il importe que l'Agence définisse et cible soigneusement le type de programmation que seule l'AIEA peut réaliser.

La nécessité de changer de rôle découle en partie des bons résultats obtenus lors des phases précédentes. Il est désormais possible d'approfondir les succès obtenus en matière de développement des infrastructures et d'établissement de partenariats dans différentes régions. Les pays n'ont plus besoin de s'appuyer sur des centres nucléaires isolés, entravés par leurs propres limites et rarement

équipés pour résoudre seuls d'importants problèmes. Nous sommes sur le point de disposer de réseaux d'unités régionales de ressources mettant en commun leurs capacités de résolution de problèmes. La création et le renforcement de ces unités va permettre d'intensifier la coopération technique entre pays en développement.

L'Agence peut aider à réaliser cette promesse en étendant le concept de partenariat pour le développement afin de contribuer à créer, au niveau régional, la base de compétences nécessaire en matière de gestion. Elle devrait adjoindre à son rôle historique de soutien du développement technique un rôle de renforcement de la gestion des techniques nucléaires aux fins du développement.

Le nouveau rôle joué par l'Agence devrait aussi être plus anticipatif. L'AIEA – et ses partenaires – devraient être prêts à adopter une stratégie commerciale plus agressive permettant de recenser et de développer, au sein des ministères traditionnels chargés du développement, des "marchés" pour les techniques nucléaires novatrices. Lorsque la résolution d'un problème est essentielle pour lever un important obstacle au développement, lorsque les techniques proposées par l'Agence sont indispensables pour maximiser le rendement, et lorsque le rôle de l'Agence est à la fois clair et clairement accepté, nous ne devrions pas hésiter à tenter de sensibiliser les gouvernements aux possibilités que peuvent offrir les techniques nucléaires.

Enfin, l'Agence devrait anticiper l'utilisation de nouvelles techniques, en particulier des techniques d'information et de communication. L'utilisation de ces techniques comme moyen de changer non seulement la façon dont nous traitons les affaires, mais aussi la nature de nos affaires,

pourrait bien nous entraîner sur des voies qui sont actuellement difficiles à prédire.

LE BÉNÉFICE DE L'EXPÉRIENCE

Les activités de coopération technique mises en œuvre par l'Agence pendant plus de 40 ans sont la preuve évidente que nous avons concrétisé le vœu, émis par le Secrétaire général, d'une programmation promouvant le développement d'une façon durable. Notre expérience montre qu'il est possible non seulement d'aider à mettre en place une infrastructure nationale, mais aussi d'encourager l'utilisation de cette nouvelle infrastructure pour résoudre des problèmes essentiels de développement et partager le savoir-faire acquis avec d'autres pays.

Le fait que l'AIEA soit parvenue à le faire dans un domaine de haute technologie tel que la science nucléaire devrait persuader les planificateurs du développement qu'on peut également le faire dans d'autres domaines. L'important, pour l'AIEA, est de continuer hardiment sur la voie dans laquelle elle s'est engagée. Pour réussir, il faudra comprendre l'environnement dans lequel nous travaillons et accepter les changements de méthode nécessaires. Nous sommes persuadés qu'en continuant d'emprunter cette voie – et peut-être uniquement de cette façon –, l'AIEA pourra constituer, au niveau mondial, un groupe plus puissant de partisans d'une généralisation des applications nucléaires qui contribuera grandement au développement sûr et durable de la planète. Lorsque ce sera le cas, nous ne serons pas loin de réaliser les véritables objectifs du régime de non-prolifération, qui sous-tendent la stabilité et la sécurité mondiales. □

TRANSFERT DE TECHNOLOGIE PAR L'AIEA : FAITS ET TENDANCES LES PILIERS DU DEVELOPPEMENT

PAULO M. C. BARRETTO ET ALEXANDER ROGOV

A l'aube du XXI^{ème} siècle, le transfert de technologie aux fins du développement pacifique du nucléaire est renforcé de plusieurs façons. Par l'intermédiaire de l'AIEA, des pays en développement et industrialisés ont œuvré, au cours de la décennie écoulée, pour améliorer l'efficacité et l'efficience du Programme de coopération technique de l'Agence, qui sert les intérêts de 130 États membres parvenus à différents stades de développement nucléaire.

Ces mesures ont été prises à un moment délicat. Pendant la décennie écoulée, l'évolution de la situation politique et économique a fortement influé sur l'activité de l'Agence, l'obligeant à ajuster sa stratégie et ses programmes. Une nouvelle stratégie de coopération technique a été mise en place et de nouvelles méthodes sont appliquées pour cibler les besoins prioritaires des États membres et former, avec d'autres organisations et groupes, des partenariats pour le développement (*voir article, page 2*).

Globalement, l'analyse de la situation montre que l'utilisation des techniques nucléaires dans les pays en développement va croissant à mesure que les infrastructures locales s'améliorent et que le transfert de technologie s'intensifie. Dans le même temps, les ressources financières demeurent limitées. Au cours des cinq dernières années, par exemple, les ressources consacrées par l'AIEA au transfert de technologie, qui avaient augmenté pendant les

décennies écoulées, se sont stabilisées (*voir encadré, page 9*). Pendant cette période, le nombre d'États membres de l'AIEA est passé de 122 en 1995 à 130 en 1999. Concrètement, cette croissance signifie, pour l'Agence, une réduction de sa capacité à répondre aux besoins en matière de développement et aux attentes de tous ses États membres.

D'importants résultats ont été obtenus, mais il est évident qu'il reste bien plus à faire pour renforcer la contribution de l'énergie nucléaire au développement durable. Fait important : il existe des opportunités, et des projets répondant aux besoins prioritaires des États membres ont été définis. La principale contrainte a été le niveau de ressources disponibles.

Le présent article présente l'évolution des activités de transfert de technologie menées par l'AIEA au cours des cinq dernières années. Il se penche aussi brièvement sur les perspectives qui se dessinent à court terme dans le contexte des objectifs fixés dans la *Stratégie à moyen terme* de l'AIEA pour la période 2001-2005. Cette stratégie intègre les principales activités menées dans trois grands domaines : transfert de technologie, sûreté et garanties. Elle convie l'Agence à renforcer son rôle de principal véhicule international de la coopération multilatérale aux fins des utilisations pacifiques de l'énergie atomique.

Le Programme de coopération technique est le principal, sinon le seul moyen de transfert de technologie dont dispose l'Agence. À cette fin, celle-ci

recourt notamment à des réunions et publications scientifiques et techniques, à des contrats et programmes de recherche, à de nombreuses bases de données textuelles et statistiques, et à toute une gamme de services d'experts dispensés par des équipes consultatives et des laboratoires de recherche (*voir encadré, page 12*).

Le Programme de coopération technique englobe des projets nationaux, régionaux et interrégionaux mis en œuvre dans différents domaines. Depuis le début des années 90, il a été mis en œuvre un nombre croissant de projets modèles devant respecter des critères rigoureux. Tous les projets de coopération technique peuvent inclure l'offre de services d'experts, la fourniture d'équipements et de services, l'offre de bourses d'étude, l'organisation de visites scientifiques et l'offre de stages de formation.

En 1999, 868 projets de coopération technique ont été mis en œuvre dans 95 États membres. Dans le cadre de ces projets, plus de 3300 experts, y compris des conférenciers originaires du monde entier, se sont rendus dans les États membres bénéficiaires. Fait notable : 55% de ces

M. Barretto est directeur de la Division de l'Europe, de l'Amérique latine et de l'Asie occidentale au Département de la coopération technique de l'AIEA. M. Rogov est ancien conseiller de la Mission parlementaire de la Fédération de Russie auprès des organisations internationales à Vienne.

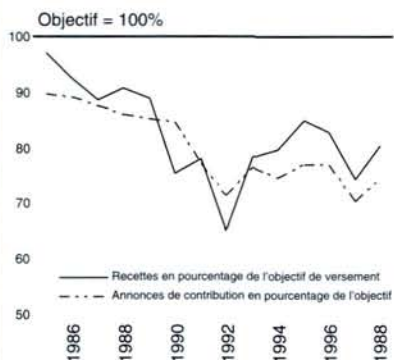
RESSOURCES DU PROGRAMME DE COOPÉRATION TECHNIQUE DE L'AIEA, 1985-1998

L'évolution des ressources du Programme de coopération technique de l'AIEA fait apparaître, au cours des dix dernières années, un tableau mitigé. La principale source de financements est formée par les contributions volontaires faites au Fonds de coopération technique (FCT), pour lequel un objectif de versement est fixé chaque année par la Conférence générale de l'AIEA.

En 1998, un nombre record de 73 pays, soit 13 de plus qu'en 1997, ont annoncé une contribution au FCT, pour lequel l'objectif de versement s'élève à 71,5 millions de dollars. La plupart des nouveaux pays qui avaient annoncé une contribution étaient des pays en développement, y compris des pays figurant parmi les moins avancés. Les 20 principaux contributeurs (15 pays développés et cinq pays en développement) représentent 95% des versements effectués au FCT pour 1998. Dans le même temps, 55 États membres n'ont ni annoncé, ni versé de contribution au FCT, certains grands contributeurs n'ayant versé qu'une fraction (20% à 80%) de leur objectif respectif pour 1999. Il en a résulté un important manque à gagner.

Au cours de la décennie écoulée, il apparaît un écart permanent entre l'objectif de versement approuvé pour le FCT et les montants effectivement versés au fonds. Du fait de l'imprévisibilité des ressources, il est difficile de planifier et d'exécuter efficacement les activités.

CONTRIBUTIONS ANNONCÉES ET VERSÉES AU FONDS DE COOPÉRATION TECHNIQUE DE L'AIEA, 1985-1998



déplacements ont été effectués par des experts des pays en développement, ce qui témoigne des progrès accomplis par de nombreux États membres en développement.

Au total, 1222 personnes ont reçu une formation en tant que boursiers ou visiteurs scientifiques. Quatorze stages interrégionaux et 184 stages régionaux ont été organisés dans 65 pays ; 82% de ces stages ont été accueillis par des pays en développement. En tout, 2422 personnes ont été formées dans le cadre des stages. Divers équipements et instruments représentant un montant de 30 millions de dollars ont été fournis (voir graphiques, page 10).

Les projets modèles, quant à eux, peuvent être nationaux, régionaux ou interrégionaux. Ils sont conçus pour répondre à un besoin national hautement prioritaire ; démontrer le rôle important joué par les techniques nucléaires ; produire un effet important et mesurable pour l'utilisateur/bénéficiaire final ; bénéficier d'un engagement bien plus important des gouvernements ; et rester viables au-delà du cycle de vie du projet proprement dit. La stratégie de l'Agence prévoit d'étendre les projets modèles à l'ensemble du Programme de coopération technique. En 1999, 122 projets modèles ont été mis en œuvre dans 59 États membres.

Il est intéressant de noter que le nombre total de projets de coopération technique mis en œuvre a été considérablement réduit pour passer d'environ 1200 en 1995 à un peu plus de 900 en 1998. Cette année, il est mis en œuvre environ 700 projets.

Un autre aspect intéressant est la tendance croissante à la "régionalisation" du programme. Celle-ci se traduit par la mise en œuvre de projets par l'intermédiaire d'institutions régionales en utilisant chaque fois que possible l'infrastructure et les compétences régionales existantes, ce qui favorise la coopération technique entre pays en développement.

En Afrique, par exemple, tandis que le budget consacré aux projets nationaux de coopération technique a peu évolué au cours des cinq dernières années, les crédits alloués aux projets régionaux ont considérablement augmenté pour passer d'environ un quart du budget-programme en 1993 à plus de la moitié en 1999-2000.

Les activités liées au transfert de technologie et de compétences relèvent directement de deux des trois piliers stratégiques de l'Agence, à savoir la technologie et la sûreté. Les principales d'entre elles sont mises en évidence dans les sections ci-après.

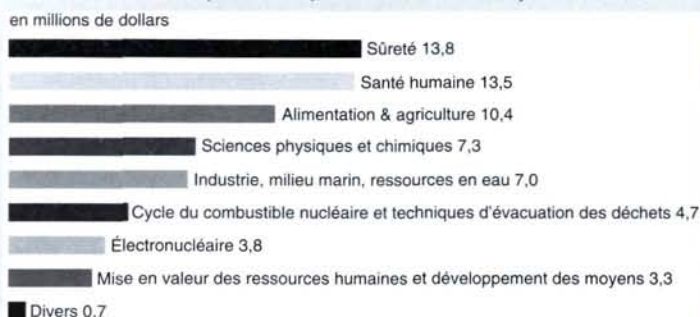
PILERS DU DÉVELOPPEMENT : LA TECHNOLOGIE

Le pilier de la technologie englobe les activités liées à la production d'électricité d'origine nucléaire et aux applications nucléaires intéressantes d'autres domaines.

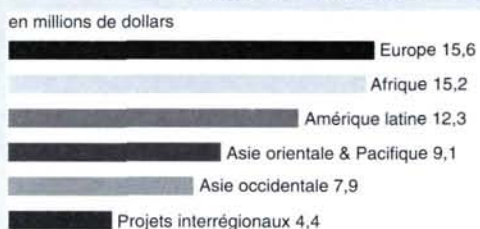
Transfert de technologie. En ce qui concerne le transfert direct de technologie en vertu du Programme de coopération technique de 1998, il a été

DÉCAISSEMENTS AU TITRE DE LA COOPÉRATION TECHNIQUE, 1998

Décaissements par domaine d'activité (Total : 64,5 millions de dollars)



Décaissements par région (Total : 64,5 millions de dollars)



exécuté un nombre total de 110 projets liés à l'énergie nucléaire et au cycle du combustible, y compris des activités régionales et interrégionales. Les décaissements liés à ces projets se sont élevés à près de 8,5 millions de dollars, soit 13% des dépenses totales.

La majorité de ces projets avaient trait à la gestion et à l'évacuation des déchets radioactifs (35%), à la mise en œuvre et à la performance de l'électronucléaire (33%) et aux matières premières destinées aux réacteurs nucléaires (15%).

■ Énergie nucléaire & cycle du combustible, y compris la gestion des déchets radioactifs.

La demande mondiale d'énergie croît en raison du développement économique et de l'augmentation de la population mondiale ; dans les pays en développement, la demande devrait augmenter de deux à trois fois dans les trente prochaines années. L'énergie nucléaire est l'une des rares

solutions facilement réalisables qui peuvent aider les pays à répondre à une importante demande d'électricité sans libérer de polluants courants de l'environnement et de gaz à effet de serre.

Études énergétiques comparatives. Le choix d'un éventail particulier de sources d'énergie est une décision nationale qui ne peut se prendre qu'en tenant compte des conditions et priorités nationales. Les États qui examinent les différentes solutions énergétiques doivent cependant pouvoir prendre cette décision sur la base d'informations actualisées et complètes et en s'appuyant sur l'avis d'experts.

Dans ce contexte et en coopération avec huit autres organisations internationales, l'AIEA a poursuivi ses activités visant à aider les États membres à développer leur capacité de prise de décisions dans le secteur énergétique.

À cette fin, le programme électronucléaire de l'AIEA a établi des bases de données par pays et par technique, mis au point des outils informatiques d'analyse, et proposé aux pays en développement des activités de formation et de soutien pour les aider à réaliser des études comparatives. Ces études ont permis d'évaluer les compromis qu'il faut toujours opérer entre les éléments techniques, économiques et environnementaux des techniques, chaînes et systèmes de production d'électricité qu'il est possible d'appliquer aux niveaux national, régional et interrégional. Plus de 90 pays utilisent ces outils et plus de 25 d'entre eux ont élaboré leurs propres bases de données, qui contiennent des informations relatives à plus de 2500 techniques.

Dans le cadre de ce programme, pendant la période 1995-1999, il a été organisé plusieurs conférences et séminaires internationaux et régionaux, et l'AIEA a établi plusieurs documents techniques traitant de la planification et de la mise en œuvre de l'électronucléaire.

Exploitation et performance des réacteurs. L'AIEA fournit en permanence aux États membres des informations sur l'exploitation des centrales nucléaires dans le monde. En 1996, l'AIEA a mis à disposition sur Internet la base de données du Système d'information sur les réacteurs de puissance (PRIS), facilitant ainsi l'utilisation de ces informations à des fins d'analyse statistique. Le nombre d'utilisateurs du PRIS dans 54 États membres et huit organisations internationales est passé à 280, ce qui représente une augmentation de 25% par rapport à l'année précédente.

En outre, des documents techniques rendent régulièrement

compte de différents aspects de la performance des centrales nucléaires. Ils décrivent, en particulier, les méthodes d'organisation et de gestion du personnel permettant d'améliorer la performance, les méthodes perfectionnées utilisées pour former et qualifier le personnel, le soutien technique apporté à l'exploitation de l'électronucléaire, et les bonnes pratiques adoptées par quelques unes des centrales les plus productives du monde.

Centrales nucléaires de type avancé. Des efforts considérables sont déployés dans le monde pour concevoir des centrales nucléaires de type avancé. On estime que les dépenses combinées de développement de nouveaux modèles, les améliorations techniques et les recherches connexes menées pour les principaux types de réacteur dépassent 1,5 milliard de dollars par an. Dans le cadre de son programme électronucléaire, l'AIEA a continué de faire office de centre international de documentation proposant des informations de référence objectives sur différents concepts en cours d'élaboration et sur l'avancement de projets, ainsi que sur les évolutions caractéristiques relevées dans le monde.

Les réacteurs de faible et moyenne puissance, qui présentent un intérêt particulier pour des applications telles que le dessalement de l'eau de mer et le chauffage urbain, ont continué de bénéficier d'une attention soutenue de l'AIEA. Ils peuvent également représenter une solution appropriée pour la production d'électricité dans des pays disposant de réseaux limités ou dans des régions isolées.

Cycle du combustible nucléaire. S'agissant du cycle du combustible nucléaire, le programme de l'AIEA couvre plusieurs aspects essentiels : offre

et demande d'uranium, technologie et performance du combustible des réacteurs, gestion du combustible irradié et questions relatives au cycle du combustible nucléaire. Ces questions ont notamment trait à la sûreté de manipulation et d'entreposage du plutonium et à l'étude comparative des différentes solutions applicables à la partie terminale du cycle du combustible.

Ce programme a permis de dégager de grandes tendances et d'en définir les incidences. L'offre d'uranium pour les réacteurs nucléaires suffira à satisfaire les besoins mondiaux jusqu'en 2050. Des retards étant escomptés dans la mise à disposition de dépôts de déchets de haute activité et de combustible irradié, on prévoit un stockage prolongé de combustible irradié et de déchets de haute activité conditionnés. On dispose, cependant, de techniques permettant de stocker et d'évacuer en toute sûreté le combustible irradié ou les déchets radioactifs. Par ailleurs, une quantité importante de plutonium civil séparé pouvant être utilisé pour alimenter des réacteurs de puissance a été accumulée dans l'industrie du cycle du combustible nucléaire.

Gestion des déchets radioactifs. Les activités de gestion des déchets menées par l'AIEA portent également sur les déchets d'exploitation provenant de l'électronucléaire et de son cycle du combustible ainsi que sur les déchets radioactifs provenant de nombreuses autres sources. La majorité des États membres de l'AIEA ne disposent pas de programme électronucléaire et utilisent des radionucléides principalement pour la recherche ou à des fins médicales, industrielles et agricoles.

Au cours des décennies écoulées, des techniques permettant de gérer de petites

quantités de déchets radioactifs provenant d'applications non énergétiques ont été mises au point et appliquées. Néanmoins, il existe des États membres où l'infrastructure est soit insuffisante, soit manquante. C'est pourquoi près de la moitié des activités consacrées actuellement par l'AIEA à la gestion des déchets sont axées sur les déchets produits en dehors du cycle du combustible nucléaire. Le principal objectif est de définir les meilleures façons de transférer des techniques ayant fait leurs preuves et l'expérience connexe vers tous les pays, en particulier vers les États membres en développement de l'AIEA.

■ **Applications non énergétiques du nucléaire.** Le soutien apporté par l'AIEA pour ce qui est de l'utilisation des radio-isotopes et des rayonnements ionisants à des fins scientifiques, agricoles, médicales, industrielles et aux fins d'autres applications non énergétiques est considérable.

Alimentation et agriculture. Dans le domaine de l'alimentation et de l'agriculture, l'Agence s'emploie principalement à faciliter la mise au point et l'adoption, par les États membres, de techniques nucléaires et de biotechnologies améliorant l'aptitude de ces derniers à recenser et à réduire, aux niveaux national et international, les contraintes qui pèsent sur une sécurité alimentaire durable. Cette activité est menée en collaboration avec l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) (*voir article, page 23*).

En 1998, près de 180 projets relatifs à l'alimentation et à l'agriculture ont été mis en œuvre dans le cadre du Programme de coopération technique, y compris un projet interrégional et 15 projets régionaux. Les décaissements opérés au titre de

LES LABORATOIRES DE L'AIEA ET LE TRANSFERT DE TECHNOLOGIE



L'AIEA exploite ses propres laboratoires de recherche et de service, qui contribuent largement au transfert des technologies nucléaires.

■ **Les laboratoires de l'AIEA à Seibersdorf**, à proximité de Vienne, mènent des recherches et proposent divers services techniques dans les domaines de la physique

appliquée, de la chimie, de l'hydrologie, de l'agriculture et de l'instrumentation nucléaire.

■ **Le Centre international de physique théorique** de Trieste (Italie) rassemble chaque année des centaines de scientifiques provenant de pays tant en développement qu'industrialisés. Le Centre est financé conjointement par le Gouvernement italien, l'Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture (UNESCO) et l'AIEA, ainsi que par d'autres bailleurs de fonds. Il fait office à la fois de centre de recherche et d'établissement de formation scientifique. L'AIEA s'attache essentiellement, par l'intermédiaire du Centre, à faciliter la réalisation d'études et de recherches avancées en sciences physiques et en mathématiques ainsi que leur interfaçage avec la technologie, en particulier dans les pays en développement.

■ **Le Laboratoire de l'environnement marin (LEM)** de Monaco mène des activités de recherche et de formation aux sciences de la mer, notamment dans les domaines de la surveillance de l'environnement et de l'étude des polluants radioactifs et non radioactifs du milieu marin. Le laboratoire collabore fréquemment avec des instituts océanographiques du monde entier et met en œuvre des projets en coopération avec d'autres programmes et organismes internationaux d'étude de l'environnement.

ces projets ont représenté 16% des dépenses totales.

Santé humaine. Dans le domaine de la santé humaine, les activités de l'AIEA ont trait à la médecine nucléaire, à la radiothérapie clinique, à la dosimétrie et à la physique médicale, ainsi qu'aux études nutritionnelles et aux études environnementales ayant un rapport avec la santé (*voir article, page 33*).

Dans le domaine de la médecine nucléaire, l'accent porte sur l'introduction, dans un grand nombre de pays en

développement, de nombreuses procédures diagnostiques efficaces par rapport aux coûts dans la pratique médicale quotidienne. Plus de 400 laboratoires de radio-immunodosage ont bénéficié du soutien de l'AIEA.

Par ailleurs, des méthodes de biologie moléculaire ont été introduites dans plusieurs centres. Environ 70 gamma-caméras ont été fournies à 56 États membres et 150 gamma-caméras analogiques existantes converties en numériques. Plus de 700 spécialistes de médecine nucléaire ont été formés. Plus de 200 cours,

ateliers et séminaires de formation nationaux, régionaux et interrégionaux ont été organisés au cours des cinq dernières années.

En radiothérapie clinique, l'AIEA a participé principalement au choix du matériel, à l'établissement des programmes de formation pour tous les échelons et à la recherche d'experts chargés de mettre sur pied les premiers départements de radio-oncologie dans quatre États membres. En dosimétrie et en physique des rayonnements médicaux, un résultat important a été le développement du soutien apporté au Réseau AIEA/OMS de laboratoires secondaires d'étalonnage pour la dosimétrie (LSED). Une autre activité importante est le contrôle, avec l'aide des réseaux nationaux, de la qualité des centres de radiothérapie ; le nombre de faisceaux contrôlés a en effet fortement augmenté en raison de l'automatisation des procédures de dosimétrie par thermoluminescence.

Dans le domaine de l'environnement, la pollution de l'air – problème grave qui se pose dans de nombreuses régions du monde et, en particulier, dans les pays en développement – a fait l'objet de nombreuses activités. Il a été démontré que les techniques d'analyse nucléaire sont très utiles pour déterminer la composition élémentaire des particules en suspension dans l'air recueillies sur des filtres et des biomonitorés dûment choisis, et que l'évaluation chimométrique des ensembles de données multi-éléments produits par ces techniques permet de déterminer l'origine des polluants et leur répartition.

Le Programme de coopération technique de 1998 comptait 175 projets consacrés à la santé humaine, dont un projet interrégional et 25 projets régionaux. Les décaissements

opérés au titre de ces projets se sont élevés à 13,5 millions de dollars, soit 21% des dépenses totales. Plus des deux tiers de ces projets avaient trait à la médecine nucléaire ainsi qu'à la radiobiologie et à la radiothérapie appliquées.

Applications scientifiques et industrielles. Un domaine d'activité traditionnel et important a été l'utilisation des techniques isotopiques et radiologiques dans le cadre de diverses applications industrielles, notamment les essais non destructifs, le radiotraitement des produits industriels et médicaux, le traitement des eaux usées et des effluents gazeux, et l'utilisation de traceurs pour évaluer, développer et gérer les ressources en eau.

L'Agence a également facilité l'utilisation de réacteurs de recherche et d'accélérateurs de particules pour la recherche et la production de radio-isotopes à des fins industrielles, médicales et autres ; la surveillance et l'étude du milieu marin ; l'instrumentation nucléaire et les applications radiochimiques.

Une autre activité importante a été l'application d'isotopes en hydrologie, ce qui a permis d'améliorer considérablement la gestion des ressources en eaux souterraines et la prévention de la pollution dans de nombreux pays. Les techniques isotopiques ont également permis d'améliorer la viabilité des barrages dans plusieurs pays, ce qui s'est révélé économiquement très bénéfique au cours des cinq dernières années.

En 1998, une assistance a été proposée dans ces domaines aux États membres en développement dans le cadre de 236 projets représentant un montant de 14 millions de dollars, soit 22% du montant total des décaissements opérés dans le cadre du Programme de coopération technique.

PILERS DU DÉVELOPPEMENT : LA SÛRETÉ

Au cours des cinq dernières années, l'AIEA a poursuivi ses activités visant à renforcer, au niveau mondial, le cadre de sûreté applicable au nucléaire, aux rayonnements, aux déchets et aux transports. Ce cadre comprend trois éléments principaux : accords juridiquement contraignants conclus entre États, normes de sûreté internationalement reconnues et mesures visant à aider les États à appliquer ces conventions et normes.

En outre, l'Agence promeut des solutions techniques visant à améliorer la sûreté. En 1999, l'AIEA s'est également employée à aider les États membres à faire face au bogue de l'an 2000.

Conventions internationales. L'AIEA soutient les activités de mise en application des principales conventions internationales relatives à la sûreté, notamment des conventions négociées et adoptées sous ses auspices à la fin des années 80 dans les domaines de la notification et de l'assistance en cas d'accident nucléaire, de la protection physique et de la responsabilité civile en matière de dommages nucléaires.

En outre, l'AIEA a facilité la conclusion, en 1994, de la Convention sur la sûreté nucléaire entrée en vigueur en 1996, et l'adoption, en 1997, de la Convention commune relative à la sûreté de gestion du combustible irradié et à la sûreté de gestion des déchets radioactifs, qui n'est pas encore entrée en vigueur.

Normes de sûreté. De par son Statut, l'AIEA est autorisée à établir et à faire appliquer des normes de sûreté. Au fil des années, l'AIEA a élaboré et publié, en coopération avec ses

États membres, plus de 200 normes qui traduisent le consensus international quant aux normes et critères de sûreté à appliquer et donnent aux autorités nationales des orientations essentielles. Ces normes couvrent tous les domaines dans lesquels il est fait usage de l'énergie nucléaire et des rayonnements, y compris l'électronucléaire et son cycle du combustible ainsi que diverses applications scientifiques, médicales, industrielles, agricoles et autres sans rapport avec la production d'électricité. Depuis 1996, un programme de travail est mis en œuvre pour réviser et actualiser quelque 70 normes de sûreté.

En 1996, des versions révisées de deux normes de sûreté revêtant une importance fondamentale ont été publiées. Il s'agit de la dernière édition des *Normes fondamentales internationales de protection contre les rayonnements ionisants et de sûreté des sources de rayonnements* (NFI), et de la dernière édition du *Règlement de transport des matières radioactives*. Ces deux documents forment la base des règles nationales appliquées dans de nombreux pays. Quant au second, il trouve également une expression dans la documentation réglementaire publiée par les principaux organismes internationaux intéressés.

Services de sûreté. La clé d'un régime de sûreté efficace réside dans la pleine application des conventions et normes sur le lieu de travail. La responsabilité de l'application des conventions et des normes de sûreté incombe essentiellement aux États membres.

L'AIEA, cependant, met en œuvre de nombreuses activités visant à aider les pays dans cette tâche. Tout au long des cinq dernières années, l'Agence a

développé la gamme des services qu'elle peut proposer dans ce domaine et renforce actuellement ses services pour y inclure différents types de missions d'examen de la sûreté, de formation, de facilitation de la recherche, de coopération technique, d'aide à l'élaboration de législations et d'échange d'informations.

Au cours des dernières années, le nombre d'États membres utilisant les différents services de sûreté de l'AIEA a augmenté considérablement. Les services couvrent des domaines tels que la sûreté aux stades de l'exploitation et de l'étude des réacteurs de puissance et de recherche ou l'examen des méthodes de réglementation de la sûreté nucléaire, de la radioprotection et de la sûreté des déchets.

Ces dernières années, de nombreuses activités de coopération technique liées à la sûreté ont été mises en œuvre dans le cadre d'un projet modèle relatif à l'amélioration de l'infrastructure de radioprotection et de sûreté des déchets, qui vise à appliquer les normes fixées par les NFI. Ce projet a pour but d'établir et de renforcer l'infrastructure nationale de sûreté des États qui utilisent des sources de rayonnements et des matières radioactives à des fins médicales, industrielles et scientifiques. Un accent particulier a été placé sur les éléments fondamentaux de cette infrastructure, à savoir l'établissement de cadres juridiques de sûreté, la création et le renforcement d'organes nationaux de réglementation, la dispensation d'un enseignement et d'une formation de base aux professionnels de la sûreté, et la création de systèmes nationaux de notification et de contrôle des sources de rayonnements.

D'ici à la fin de l'an 2000, la plupart des 52 États participant

au projet modèle devraient avoir approuvé ou entrepris des démarches en vue d'approuver une législation, des règles pour l'organe de réglementation, et un système de notification, d'autorisation et de contrôle des sources de rayonnements.

Dans le cadre de ce projet modèle, diverses missions d'experts ont été menées conformément à des plans d'action convenus avec les pays participants. Entre 1995 et 1999, l'AIEA a mené 302 missions d'experts et organisé 37 ateliers et séminaires couvrant la plupart des activités du projet.

En outre, l'AIEA a poursuivi ses activités d'enseignement et de formation dans le cadre du programme de coopération technique, qui est un moyen efficace de renforcer la sûreté nucléaire et la sûreté des rayonnements. Dans le cadre du programme général de sûreté, environ 170 stages nationaux, régionaux et interrégionaux de formation ont été organisés entre 1995 et 1999.

Transfert de technologie. Les activités de sûreté mises en œuvre dans le cadre du Programme de coopération technique entre 1995 et 1999 ont représenté une dépense d'environ 72 millions de dollars. Ce montant représente environ 25% des décaissements opérés pendant cette période et couvre plus de 400 projets nationaux, régionaux et interrégionaux.

Programme extrabudgétaire relatif à la sûreté. Ces dernières années, il a été mis en œuvre, dans le cadre du programme ordinaire, un programme extrabudgétaire concernant les principales questions de sûreté liées à la conception et à l'exploitation des centrales nucléaires de première génération d'Europe centrale et orientale et des nouveaux États indépendants (NEI). Ses observations et

recommandations ont servi de base technique à l'amélioration de la sûreté des centrales en question, à l'examen réalisé par les organes nationaux de réglementation, et à l'établissement de priorités dans le cadre des programmes nationaux, bilatéraux et internationaux relatifs à la sûreté.

Ainsi, des progrès considérables en matière de sûreté nucléaire ont été accomplis pour ce qui est de l'exploitation des réacteurs VVER et RBMK d'Europe centrale et orientale, du renforcement de l'indépendance et de la compétence technique des organes de réglementation, et de l'établissement d'un cadre national de législation et de réglementation des activités nucléaires.

Malgré les résultats obtenus, beaucoup reste à faire. Il reste, par exemple, à maintenir et à renforcer la culture de sûreté et à améliorer la sûreté au stade de la conception grâce à des mesures spécifiques d'analyse de sûreté.

Une activité extrabudgétaire régionale portant sur la sûreté des installations nucléaires dans les pays d'Asie du Sud-Est, du Pacifique et de l'Extrême-Orient a été lancée au début de 1998. Cette activité a pour objet de renforcer la sûreté nucléaire dans les pays participants et, en particulier, de renforcer les moyens des organes de réglementation et de soutien technique.

Échange d'informations. Le développement et la promotion de la sûreté nucléaire et de la sûreté des rayonnements sont largement assurés par diverses réunions – conférences internationales, colloques auxquels participent des centaines de personnes ou réunions techniques réunissant plusieurs experts ou consultants.

Ces cinq dernières années, dans le domaine de l'utilisation des

techniques nucléaires, une question n'a cessé de susciter des préoccupations : celle de la sûreté du combustible irradié et de la gestion des déchets radioactifs. Ces inquiétudes ont trait non seulement aux déchets produits par les centrales nucléaires et provenant d'applications nucléaires utilisées en médecine, dans l'agriculture et dans l'industrie, mais également à la considérable augmentation potentielle du volume de déchets provenant du déclassement envisagé de plusieurs centrales nucléaires et réacteurs de recherche. Il est donc urgent d'élaborer et d'appliquer des plans d'évacuation de ces déchets. L'AIEA a aidé les États membres dans ce domaine, notamment par la recherche d'un consensus sur les normes de sûreté applicables. Dans certains domaines tels que l'évacuation à faible profondeur des déchets de faible activité, ce consensus existe. Dans d'autres, en revanche, comme celui de l'évacuation dans les formations géologiques de déchets de haute activité, il est moins évident.

Sources de rayonnements. Ces dernières années, la menace que font penser sur la santé publique les sources de rayonnements dites "orphelines" a suscité des préoccupations particulièrement vives. L'AIEA a aidé à vérifier les effets radiologiques de ces sources qui échappent au contrôle des autorités nationales et a aidé lesdites autorités à prendre les mesures de protection qui s'imposent, y compris en leur proposant une assistance humanitaire d'urgence. L'AIEA participe actuellement à la mise en œuvre d'un plan d'action relatif à la sûreté des sources de rayonnements et à la sécurité des matières radioactives, et notamment à l'élaboration d'un code de conduite applicable par les autorités nationales dans ce domaine.

Sûreté des réacteurs de recherche. Un autre domaine de préoccupation a été la sûreté des réacteurs de recherche. Sur plus de 600 réacteurs de recherche construits, 344 ont été fermés, mais seulement 106 déclassés. De nombreux États qui exploitent des réacteurs de recherche disposent toujours d'infrastructures réglementaires insuffisantes, sans parler d'autres problèmes graves tels que l'âge et l'obsolescence des équipements, la pénurie de pièces de rechange et les contraintes budgétaires.

Les activités de l'AIEA dans ce domaine ont consisté à renforcer la structure réglementaire et à proposer des services d'examen de sûreté. Beaucoup reste à faire. À l'avenir, l'Agence prévoit de soutenir d'autres activités visant à améliorer la sûreté d'exploitation. Parmi ces activités, on peut citer l'élaboration d'un document énonçant des critères de sûreté applicables aux réacteurs de recherche ; l'intensification du recours aux missions consultatives ; l'élaboration de recommandations applicables aux examens collégiaux et aux auto-évaluations ; et l'offre d'une assistance destinée à améliorer la sûreté des réacteurs de recherche vieillissants et des installations connexes de stockage du combustible irradié.

D'autres activités d'assistance sont également prévues pour aider les pays dans lesquels des réacteurs de recherche ont été fermés et sont en cours de déclassement.

Études de sûreté radiologique. Ces dernières années, l'Agence a commencé à proposer un nouveau type de service : l'étude radiologique d'endroits comportant des résidus radioactifs d'accidents ou de pratiques anciennes telles que des essais d'armes nucléaires ou l'évacuation de déchets radioactifs. Ces endroits sont notamment certaines régions des mers de Kara

et de Barents, l'ancien site d'essais nucléaires situé près de la ville de Semipalatinsk (Kazakhstan), l'atoll de Bikini dans les îles Marshall, ainsi que les atolls de Mururoa et de Fangataufa dans le Pacifique Sud. Des rapports concernant ces études ont été publiés par l'AIEA.

Sûreté des transports. Une autre source de préoccupation, ces cinq dernières années, a été la sûreté du transport des matières radioactives. Afin d'aider ses États membres à appliquer de façon plus efficace et généralisée le *Règlement de transport des matières radioactives*, l'AIEA a créé un Service d'évaluation de la sûreté des transports et proposé une formation au transport des matières radioactives. L'Agence a également invité des organisations partenaires – à savoir l'Organisation mondiale de la santé, la Commission européenne, l'Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire, l'Organisation du transport aérien international et la Fédération internationale des associations de pilotes de ligne – à collaborer étroitement avec elle dans le domaine de la sûreté du transport des matières radioactives.

Recherche sur la sûreté. L'AIEA continue d'encourager la recherche-développement en finançant des contrats et des accords de recherche portant sur un grand nombre de thèmes ayant trait à la sûreté. Au début de 1998, près de 300 contrats et accords de ce type portaient sur différents aspects de la sûreté nucléaire, de la radioprotection et de la sûreté des déchets.

PROBLÈMES POSÉS PAR LE TRANSFERT DE TECHNOLOGIE

Au cours de la décennie écoulée, les événements politiques, économiques et technologiques

ont exercé une influence majeure sur les activités de l'AIEA. Il en a résulté autant de défis et de possibilités, qui ont contraint l'Agence à ajuster ses plans et ses priorités aux nouvelles réalités.

La Stratégie à moyen terme de l'AIEA prévoit plusieurs évolutions qui risquent d'influencer les activités de transfert de technologie de l'Agence dans un proche avenir :

■ **Évolution des techniques.** L'utilisation des applications nucléaires se répand dans les pays en développement, à mesure que les infrastructures s'améliorent et que le transfert de technologie s'intensifie.

■ **Demande d'énergie.** Alors que la demande d'énergie continue de croître et que la dynamique du développement durable s'accélère, la nécessité d'exploiter des sources d'énergie ayant un impact limité sur l'environnement (respectant en particulier les engagements pris dans le cadre du Protocole de Kyoto) pourrait revitaliser l'option électronucléaire.

■ **Sûreté.** Dans le contexte de la libéralisation de l'économie mondiale, qui se traduit par la privatisation des services, la déréglementation et la réduction du soutien apporté par l'État à l'industrie électronucléaire, il faut veiller à ne pas compromettre la sûreté nucléaire.

■ **Questions relatives au cycle du combustible nucléaire.** Alors que les centrales nucléaires vieillissent et que le combustible irradié et les déchets s'accumulent, il faut davantage s'efforcer d'appliquer les solutions techniques existantes à la gestion du combustible irradié, à l'évacuation des déchets radioactifs et, au besoin, au déclassement des centrales et au prolongement de leur durée de vie.

■ **Ouverture vers le public.** La société civile joue un rôle croissant dans l'élaboration des politiques nationales et internationales, d'où la nécessité

d'instaurer une communication plus soutenue et plus ouverte entre l'AIEA et le public.

■ **Informatique.** Les progrès rapides et généralisés de l'informatique vont offrir des occasions exceptionnelles, s'agissant de notre façon de travailler. En outre, les nouvelles techniques informatiques vont permettre de mieux communiquer, y compris avec le public.

Buts et objectifs stratégiques.

La *Stratégie à moyen terme* fixe des buts et des objectifs spécifiques pour la période quinquennale 2001-2005 et énonce les moyens proposés pour atteindre ces objectifs.

Les 130 États membres de l'Agence ont différents intérêts, besoins et attitudes s'agissant de l'utilisation des techniques nucléaires, qui elles-mêmes évoluent dans le temps. En outre, l'évolution de la situation dans d'autres domaines techniques a eu un impact – aussi bien positif que négatif – sur les avantages comparatifs des techniques nucléaires. Le triple défi que doit relever l'AIEA à moyen terme est le suivant :

■ Comprendre comment les besoins et les intérêts des États membres évoluent, de façon à pouvoir réagir en plaçant l'accent sur les techniques nucléaires appropriées ;

■ Contribuer à l'évaluation objective de l'utilisation des techniques nucléaires et aider les États membres à appliquer en toute sûreté les techniques qui continuent de présenter un avantage comparatif ;

■ Stimuler les activités internationales visant à maintenir et à développer les connaissances, la compréhension et le savoir-faire dans le domaine nucléaire, notamment par le rassemblement et par la diffusion d'informations scientifiques et par le transfert de technologie.

En résumé, les activités de l'AIEA liées au transfert de technologie sont nombreuses, diverses et axées sur les besoins prioritaires de ses États membres. Ces activités continuent de susciter l'intérêt et d'obtenir le soutien aussi bien des bailleurs de fonds que des pays bénéficiaires. Cependant, en raison de sa nature volontaire, le financement de ces activités continue d'être imprévisible.

Au cours des cinq dernières années, l'AIEA a poursuivi ses efforts visant à soutenir la promotion des applications pacifiques de l'énergie nucléaire dans les États membres. Une nouvelle stratégie de coopération technique a été adoptée, et elle est maintenant activement utilisée dans l'élaboration et la mise en œuvre des programmes. Les départements techniques ont intensifié leur activité dans les domaines prioritaires liés au transfert de la technologie nucléaire vers les pays en développement, notamment dans des domaines tels que la gestion des ressources en eau, la surveillance de l'environnement, la radioprotection et la gestion des déchets radioactifs.

De nouvelles améliorations de l'efficacité et de l'efficacité des activités de transfert de technologie devraient avoir lieu dans le cadre de la *Stratégie à moyen terme* de l'AIEA, qui couvre les cinq premières années du XXI^e siècle. Ces améliorations devraient renforcer la contribution apportée par les techniques nucléaires à la satisfaction des besoins et des intérêts d'un nombre croissant d'États membres.

La mise en place progressive des éléments de cette stratégie devrait permettre à l'AIEA de renforcer sa fonction de principal véhicule de la coopération multilatérale mondiale dans le domaine des applications pacifiques de l'énergie nucléaire. □

DES PARTENARIATS POUR L'EAU

DES PROJETS RÉGIONAUX DE L'AIEA EN FAVEUR DE L'AFRIQUE METTENT EN VALEUR LES COMPÉTENCES

ALI BOUSSAHA ET ROYAL F. KASTENS

L'eau douce est une ressource précieuse et limitée. Seulement 0,007% environ des eaux de la planète sont accessibles pour la consommation humaine. Si l'on comparait les réserves totales en eau de la Terre à quatre litres, l'eau douce (y compris la neige et la glace) représenterait moins de la moitié d'une tasse (environ 3%), et l'eau facilement accessible ne représenterait qu'environ deux gouttes !

La concurrence pour ces gouttes s'intensifie de façon exponentielle : depuis 1900, la demande d'eau douce, dans le monde, a augmenté de plus de six fois – soit plus de deux fois plus que la population. D'après les estimations, quelque 400 millions de personnes vivent actuellement dans des régions touchées par de graves pénuries d'eau. Dans cinquante ans, quatre milliards d'individus risquent de connaître cette situation. Chaque année, quelque 90 millions d'individus s'ajoutent à la population mondiale ; au cours des trois prochaines décennies, presque tous les pays connaîtront une diminution par habitant de leurs ressources en eau disponibles.

Mais c'est peut-être l'Afrique qui, de toutes les régions, connaît la situation la plus difficile. Son taux annuel de croissance démographique est déjà élevé, et l'on s'attend à ce que cette croissance demeure, dans l'immédiat, supérieure à 2%. La situation de ce continent est exacerbée, dans les zones arides et



semi-arides, par des sécheresses prolongées conjuguées à de fortes pressions démographiques, en particulier dans les zones urbaines, ainsi qu'à une concurrence croissante pour l'eau dans l'agriculture et l'industrie. La plupart des centres urbains africains ont des difficultés à satisfaire, en matière d'approvisionnement en eau et d'assainissement, les besoins de leur population actuelle, et voient se dessiner, s'agissant des problèmes sanitaires, sociaux, économiques et écologiques que

leur réserve l'avenir, des perspectives difficiles.

Les problèmes liés à la rarefaction de l'eau figurent en première place dans les programmes gouvernementaux. Les efforts déployés par les États membres africains de l'AIEA pour résoudre ces problèmes reposent sur des outils d'analyse, des techniques et des moyens institutionnels de plus en plus complexes. Les programmes nationaux de gestion des ressources en eau font l'objet d'une attention croissante et un

M. Boussaha est chef de la Section de l'Afrique de la Division de l'Afrique, de l'Asie orientale et du Pacifique au Département de la coopération technique, et M. Kastens est chef de la Section concepts et planification de ce Département. Ont contribué au présent article M. Pradeep Aggarwal, chef de la Section de l'hydrologie isotopique de la Division des sciences physiques et chimiques au Département des sciences et applications nucléaires et M. C.B. Gaye, de la Section de l'hydrologie isotopique de ce Département.

Photo : Dans le cadre d'études financées par l'AIEA, des hydrologues éthiopiens cartographient de façon scientifique les ressources en eaux souterraines (Crédit : Kinley/AIEA)

grand nombre de partenaires de développement bilatéraux et multilatéraux s'emploient activement à apporter un soutien technique et financier.

Ces dernières années, des institutions du système des Nations Unies, des bailleurs de fonds et des organisations non gouvernementales (ONG) ont joué un rôle essentiel comme promoteurs de politiques et conseillers techniques. Parmi les sources de capitaux d'investissement, c'est la Banque mondiale qui a joué le rôle le plus déterminant. Elle a financé, de 1961 à 1995, de nombreux projets achevés ou en cours relatifs à l'eau, qui représentent un montant total avoisinant 60 milliards de dollars.

Pourtant, d'importants problèmes demeurent. L'aptitude des gouvernements à résoudre les problèmes liés à l'eau est souvent limitée par l'absence de politique appropriée et de cadres d'analyse, y compris les aspects réglementaires de la gestion de l'eau et de la prestation des services. Il en résulte une fragmentation des efforts ainsi qu'une formulation et une mise en œuvre inefficaces de programmes d'évaluation et de gestion des ressources en eau. Même un examen rapide des documents d'orientation, des évaluations de pays et des compilations analytiques établis par les gouvernements et par la communauté internationale révèle que les systèmes de données utilisés pour la gestion des ressources en eau nationales sont généralement inadéquats dans l'ensemble de la région.

L'absence d'informations fiables a d'évidentes conséquences et représente, en particulier, un important obstacle pour appliquer des stratégies et des programmes nationaux efficaces de gestion des ressources en eau.

Les pays africains, avec la coopération active de leurs partenaires de développement, s'emploient de plus en plus à renforcer les infrastructures nationales de gestion des ressources en eau, notamment par le développement des moyens et par l'amélioration des compétences nationales pour ce qui est de planifier, de formuler et de mettre en œuvre des projets de développement dans le secteur de l'eau. Les activités actuelles visent notamment, dans le cadre du développement des moyens techniques nationaux, à intégrer les outils nécessaires pour améliorer encore la mise à disposition de données à l'appui d'une prise de décisions rationnelle.

COOPÉRATION TECHNIQUE DE L'AIEA

Un important aspect du renforcement des moyens nationaux de gestion des ressources en eau est la nécessité de mieux comprendre l'interaction humaine et les processus naturels qui entrent en jeu, à divers niveaux, dans le cycle hydrologique. Par exemple, les eaux de surface restent la principale source d'eau douce pour les deux tiers de la population, tandis que pour les populations rurales, les eaux souterraines sont de plus en plus importantes comme principale source d'irrigation permettant de répondre aux besoins nationaux en matière de sécurité alimentaire. De surcroît, les eaux souterraines sont sur-utilisées dans de nombreuses régions, où l'eau est puisée plus rapidement qu'elle ne se reconstitue. Certaines eaux souterraines, appelées "eaux fossiles", ne peuvent se reconstituer car elles se sont déposées à des époques antérieures.

Le pompage excessif d'eaux souterraines a entraîné, dans

certaines régions, une diminution de plusieurs mètres des niveaux d'eau, rendant de plus en plus difficile et onéreux le maintien d'un accès à cette eau ou modifiant la qualité des sources en introduisant une interaction avec des polluants naturels ou artificiels. Ce pompage peut aussi avoir une incidence importante sur le débit de base des cours d'eau, avec des conséquences négatives pour la pêche et les écosystèmes. Le problème de la surexploitation des eaux souterraines devrait s'aggraver au cours des 30 prochaines années.

Dans cette perspective, il est nécessaire de disposer d'informations exactes et opportunes concernant l'âge, la vitesse et les zones d'alimentation des nappes, le mélange entre les masses d'eau, les sources de salinisation, surtout dans les zones arides et semi-arides, ainsi que d'autres paramètres ayant une incidence sur la quantité, la qualité et la durabilité des ressources.

Applications nucléaires et apparentées. L'application de techniques nucléaires dans le domaine de l'hydrologie est un moyen important, parfois unique, d'obtenir des informations critiques nécessaires à la gestion des ressources en eau. Dans la plupart des cas, les méthodes d'hydrologie isotopique donnent, pour un problème hydrologique, une définition ou une solution qualitative tandis que parfois, la quantification de paramètres hydrologiques ne peut s'effectuer qu'en appliquant ces méthodes. Ces informations sont indispensables pour déterminer la productivité à long terme d'une nappe, protéger contre la pollution des zones de réalimentation vulnérables, ou limiter l'invasion par de l'eau de mer. Les isotopes fournissent également des données utiles pour contraindre

et valider des modèles de nappes utilisés pour la gestion des eaux. Dans de nombreuses études, les isotopes sont pratiquement "indispensables" (voir encadré, page 20).

L'utilisation des méthodes d'hydrologie isotopique présente d'importants avantages techniques et économiques, en particulier dans le cadre des activités de gestion des eaux. Pour tirer parti de ces avantages, les services de gestion des eaux doivent pouvoir mesurer avec précision les concentrations d'isotopes et bénéficier de la formation nécessaire pour appliquer, développer ou adapter les techniques existantes aux conditions locales.

Dans d'autres domaines, la coopération technique en matière d'hydrologie isotopique est bien définie, tant sur le plan du mandat de l'Agence que sur celui de sa compétence technique. Depuis plus de 40 ans, le programme d'hydrologie isotopique de l'Agence met en place, au niveau national, les moyens permettant de rassembler, d'interpréter et d'appliquer les données isotopiques en

hydrologie. Compte tenu des vastes possibilités qu'offre l'hydrologie isotopique, en particulier dans le contexte de l'Afrique, le Conseil des gouverneurs de l'AIEA a approuvé, en 1994, une stratégie régionale intégrée visant à maximiser les avantages offerts par les activités de transfert de technologie soutenues par l'Agence dans le secteur de l'eau. Depuis 1995, des efforts concertés et systématiques ont été entrepris pour intégrer effectivement les techniques d'hydrologie isotopique aux activités hydrologiques menées dans les États membres. Le lancement, en 1997, de la nouvelle Stratégie de coopération technique de l'Agence a fourni le cadre idéal et les modalités permettant de consolider davantage les mesures prises par les États membres et par l'Agence pour renforcer l'impact des projets d'hydrologie isotopique mis en œuvre en Afrique.

ÉTUDE DE CAS : PROJETS RÉGIONAUX AFRICAINS

Les pays sont de plus en plus conscients du rôle important que

joue l'hydrologie isotopique et de la contribution potentielle qu'elle peut apporter dans la résolution des problèmes concrets posés par la gestion des ressources en eau. C'est ce qui a incité plusieurs États membres africains à solliciter l'aide de l'Agence pour mettre au point une méthode appropriée d'intégration des techniques isotopiques aux programmes nationaux de gestion des ressources en eau.

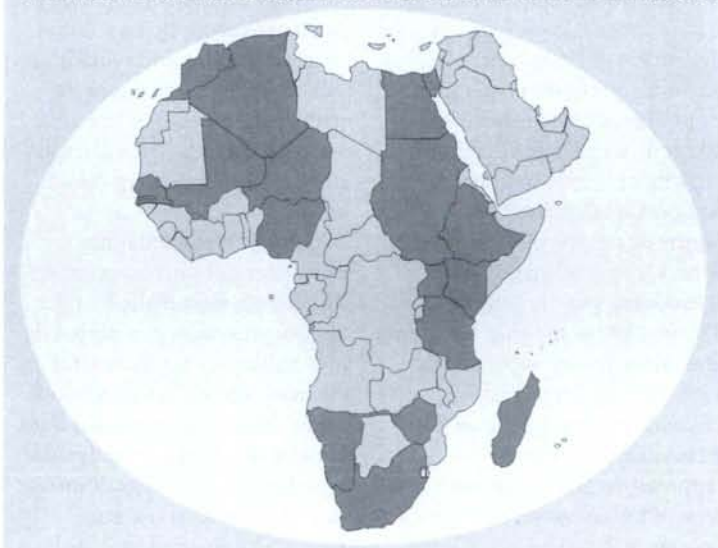
Projet modèle régional sur le rôle des isotopes dans la mise en valeur des aquifères.

Répondant à ces demandes, l'Agence a mis au point un projet régional de coopération technique lié à d'importants investissements opérés dans le secteur de l'eau avec le soutien financier des pouvoirs publics et/ou de bailleurs de fonds. Lancé en 1995, ce projet s'est ouvert par une première phase (1995-1997) associant quatre pays (Égypte, Éthiopie, Maroc et Sénégal). Il a été prolongé en 1997 pour inclure, dans une deuxième phase, cinq autres pays (Algérie, Mali, Niger, Nigeria et Soudan).

Cette entreprise avait pour objet 1) de démontrer l'impact concret, à court terme, des techniques d'hydrologie isotopique et 2) de contribuer aux activités de développement infrastructurel à long terme mises en œuvre par les États membres pour pouvoir mieux gérer leurs ressources en eau.

Un but important a été d'établir le dialogue avec les utilisateurs finals afin de maximiser les avantages de la coopération technique. Lors de la conception et de la formulation des activités opérationnelles, il a été porté une attention particulière au cadre institutionnel et opérationnel national, et des efforts particuliers ont été consentis pour établir des liens avec d'autres programmes

PAYS PARTICIPANT À DES PROJETS RÉGIONAUX DE GESTION DES EAUX MIS EN ŒUVRE PAR L'AIEA EN AFRIQUE



DÉVELOPPEMENT ET RESSOURCES EN EAU

Les méthodes isotopiques fournissent de précieuses informations et données qui permettent de mieux comprendre les problèmes de développement inhérents à la gestion des ressources en eau. Ces méthodes sont notamment les suivantes :

Amélioration de l'évaluation des ressources en eau

■ *Réalimentation/rejets naturels – estimation du bilan hydrologique.* Détermination des sources et des zones de réalimentation (essentielle pour déterminer le bilan hydrologique et l'offre d'eau) ; détermination des processus de réalimentation (mode et dynamique) ; estimation de la vitesse de réalimentation ; et estimation de la vitesse de diffusion des rejets.

■ *Eaux fossiles – fréquentes dans les zones arides.* Cartographie de l'occurrence des eaux, en particulier des aquifères transfrontaliers ; amélioration de l'évaluation de la relation hydraulique avec les masses d'eaux de surface/souterraines adjacentes ; estimation des ressources.

■ *Vérification du bilan hydrologique par la modélisation des flux souterrains.* Les applications isotopiques peuvent permettre de confirmer des

observations réalisées au moyen d'études hydrologiques traditionnelles.

Gestion des eaux souterraines

■ *Pollution des eaux souterraines.* Identification de certaines sources et processus ; établissement des modes de transport des polluants et de leur dynamique ; validation/étalonnage de modèles de transport des polluants ; évaluation, aux fins de la prise de décisions, de la vulnérabilité des nappes à la pollution.

■ *Exploitation et surexploitation des eaux souterraines.* Évaluation de la source et du processus de salinisation des eaux souterraines ; évaluation des conséquences néfastes de l'exploitation.

■ *Réalimentation artificielle des eaux souterraines.* Évaluation de l'efficacité de différentes méthodes de réalimentation ; identification des sites les plus appropriés de réalimentation compte tenu des conditions hydrogéologiques.

■ *Incidence de la réutilisation des eaux usées sur les eaux souterraines.*

financés, dans certains pays, par des bailleurs de fonds.

Pendant le processus de formulation, d'importantes consultations ont eu lieu avec les États membres. Ces consultations avaient pour but d'obtenir des autorités nationales chargées de la gestion de l'eau qu'elles participent et contribuent activement aux projets d'hydrologie isotopique. Le fait d'associer à un stade précoce ces autorités ou les utilisateurs finals aux projets de coopération technique avait pour but d'établir de solides relations fonctionnelles avec les autorités nationales chargées de l'énergie atomique, les établissements techniques intéressés et les départements universitaires d'hydrologie.

Dans tous les pays, les activités de projet ont porté sur des problèmes de développement revêtant une grande importance. Quelques exemples précis d'études de terrain et d'activités menées dans certains pays illustrent bien le travail accompli.

■ *Égypte.* L'Égypte fait face à une grave pénurie d'eau douce. La réalisation du haut barrage d'Assouân et la régulation par les pouvoirs publics des déversements d'eau en aval du barrage ont aidé à limiter les déversements d'eau dans la mer. En conséquence, un volume plus important d'eau a été mis à disposition pour la mise en valeur de nouvelles terres en bordure de la plaine alluviale du Nil. Cependant, en raison de la quantité limitée d'eaux de surface, les nouveaux projets de mise en valeur de terres dépendent totalement d'eaux souterraines pompées localement. Deux projets de ce type mis en œuvre à Wadi Qena et à Esna ont été sélectionnés pour le projet d'hydrologie isotopique. Ces deux sites couvrent une superficie de 4500 km², où les nappes descendent jusqu'à environ 200 mètres. La durabilité de l'approvisionnement en eau dépend fortement du maintien de l'existence d'eaux souterraines,

tant en qualité qu'en quantité. Les résultats d'études antérieures ont fait ressortir une importante interaction entre les eaux souterraines de différentes nappes.

Les études d'hydrologie isotopique ont mis en évidence des caractéristiques isotopiques distinctes entre les eaux souterraines du système aquifère du Nil et celles des nappes de grès nubiennes voisines. La relation entre les eaux récentes du Nil, les eaux anciennes (en amont du barrage d'Assouân) et leur contribution à la réalimentation des nappes a également été définie.

Outre la réalimentation provenant des eaux actuelles du Nil, il a été estimé que les eaux fossiles provenant des nappes de grès nubiennes représentaient environ 30% de l'alimentation totale des nappes exploitées dans le cadre de programmes de mise en valeur de terres. Les données de réalimentation des eaux souterraines compilées dans le

cadre de cette étude devraient faciliter le développement durable des ressources en eau et permettre la mise en œuvre d'autres projets de mise en valeur de terres en bordure du désert.

■ **Sénégal.** Au Sénégal, on a réévalué le potentiel représenté par les réserves d'eaux souterraines de la péninsule du Cap-Vert. Cette région englobe la capitale Dakar, qui souffre d'une grave pénurie d'eau. Les études isotopiques ont fourni des données critiques qui faciliteront la gestion durable des systèmes aquifères utilisés pour approvisionner la ville en eau d'alimentation.

■ **Maroc.** Deux régions des zones pauvres en eau du sud du Maroc (Tafilalet et Guelmine) ont été sélectionnées pour le projet régional. Les études isotopiques ont permis de mieux comprendre les systèmes aquifères des deux régions. Dans la région de Tafilalet, il est apparu que l'une des nappes était exploitée en présence d'activités minières ; il a donc été décidé de fermer cinq puits artésiens. Dans la région de Guelmine, on a établi qu'il était possible de réalimenter artificiellement la nappe de Seyyad à l'aide d'eaux de surface ; un site adapté a donc été choisi à cette fin grâce à l'étude isotopique.

■ **Éthiopie.** L'étude de la réalimentation des eaux souterraines a porté sur la région de Moyale, située dans le sud de l'Éthiopie. Les sécheresses récurrentes dans cette région, qui compte environ trois millions d'habitants, créent une pénurie chronique d'eau d'alimentation et d'irrigation. Les résultats des études d'hydrologie isotopique font apparaître une réalimentation généralisée des eaux souterraines par les précipitations, mais à une vitesse nettement inférieure aux estimations antérieures. L'étude a

également mis en évidence le potentiel durable que présentent deux nappes situées dans des formations sédimentaires et fracturées de la région de Moyale, qui pourraient éventuellement servir pour l'approvisionnement en eau des exploitations rurales.

Projet modèle régional de mise en valeur durable des eaux souterraines. Suite au succès rencontré par le projet régional de 1995 et aux enseignements tirés en matière de formulation et de mise en œuvre des projets, un deuxième projet modèle régional a été lancé en 1999 pour l'Afrique méridionale et orientale. Ce projet, qui associe sept pays (Kenya, Madagascar, Namibie, Afrique du Sud, Tanzanie, Ouganda et Zimbabwe), revêt la forme d'une série de sous-projets nationaux parallèles orientés vers l'action de terrain. Le volet régional du projet a été conçu pour promouvoir la coopération ainsi que l'échange d'informations et de données d'expérience entre les pays participants, et pour renforcer encore l'offre régionale d'applications isotopiques. Il a globalement pour objectif de résoudre les problèmes concrets posés par la mise en valeur et la gestion des eaux souterraines présentes dans les formations de roches dures fracturées et dans les systèmes aquifères alluviaux, où les problèmes de salinisation, de pollution et de surexploitation suscitent de vives préoccupations.

Certaines activités mises en œuvre au niveau national sont décrites ci-après.

■ **Madagascar.** À Madagascar, l'assistance de l'AIEA a pour objectifs spécifiques d'établir la dynamique des eaux souterraines et d'évaluer la nature et l'origine des problèmes de qualité des eaux souterraines dans la partie méridionale du pays. Ces activités complètent, tout en s'intégrant à ces dernières, les activités plus

vastes de mise en valeur et de gestion des ressources en eau menées par divers organismes internationaux, dont le Fonds des Nations Unies pour l'enfance (UNICEF), la Banque mondiale, le Programme des Nations Unies pour le développement (PNUD) et l'Agence japonaise pour la coopération internationale. Ce projet est exécuté conjointement par la Direction de l'exploitation des eaux et par l'Institut national des sciences et des techniques nucléaires. Par ailleurs, un comité national de direction du projet associant toutes les parties concernées du secteur de l'eau est en cours d'organisation.

■ **Afrique du Sud.** Le sous-projet sud-africain porte sur l'évaluation des eaux souterraines disponibles dans la région de la faille de Taaibosch (Province du Nord). Il a été procédé à l'étude préliminaire d'un système d'approvisionnement en eau de plusieurs villages comptant une population totale d'environ 60 000 habitants. La mise en œuvre du projet dépendra du fait de savoir si les ressources en eaux souterraines locales sont suffisantes pour répondre, à long terme, à la demande prévue. L'équipe de projet est administrée par le Département des eaux et forêts, et l'administration considère le projet de Taaibosch comme une étude pilote en vue de l'évaluation des eaux souterraines dans chaque région et sur tout le territoire de l'Afrique du Sud.

Une partie importante de la mise en œuvre du projet est soustraite à une société de conseil privée. Des services d'analyse et d'interprétation des données sont assurés par un centre universitaire de recherche nucléaire, qui soutient également (en tant qu'établissement régional) les activités menées dans les autres pays participant au projet modèle régional. Le Département des

CONSOLIDATION DES MOYENS D'HYDROLOGIE ISOTOPIQUE EN AFRIQUE

L'AIEA met actuellement au point un plan stratégique visant à donner durablement aux pays d'Afrique les moyens de bénéficier des applications de l'hydrologie isotopique. L'objectif primordial de ce plan est de promouvoir une gestion intégrée et durable des ressources en eau.

Les principaux volets du plan sont les suivants :

- **renforcement des moyens institutionnels et des compétences des personnels.**
- **promotion de la participation des acteurs concernés et du secteur privé.**
- **encouragement de la coopération et de la collaboration régionales.**
- **soutien aux programmes nationaux à moyen et long termes.**
- **amélioration des systèmes de données et d'information.**

eaux et forêts collabore avec la Commission de recherche hydrologique afin de constituer un comité de direction du projet et y inclure des représentants d'autres organismes publics sud-africains actifs dans le domaine de l'eau.

■ **Zimbabwe.** Au Zimbabwe, des ressources en eaux souterraines s'étendant sur environ 4000 km² sont en cours de caractérisation dans l'alluvionnement de la Save, dans la partie méridionale du pays. La Save s'écoule en direction du sud, vers le Mozambique. Il a été établi, du système aquifère de cette rivière, un modèle qui sert à orienter les activités de terrain.

Les sous-projets nationaux composant cette activité régionale font partie intégrante de programmes gouvernementaux hautement prioritaires. Souvent, ces programmes sont financés par des donateurs bilatéraux et multilatéraux, et l'aide de l'Agence est requise pour soutenir des études en cours lorsque les techniques hydrogéologiques classiques ne permettent pas de tirer des conclusions définitives. Les changements récemment intervenus, dans certains pays, dans la législation relative à l'eau et dans l'affectation des ressources favorisent également une meilleure compréhension

technique des réserves d'eau disponibles et une répartition plus équitable et rationnelle de ces ressources.

DÉFIS À RELEVER

Si le Programme d'hydrologie isotopique de l'Agence a largement contribué à favoriser la réalisation d'études conceptuelles et la mise au point d'applications pratiques dans ce domaine, d'importants problèmes restent à résoudre pour intégrer les méthodes isotopiques dans le secteur de l'eau. À cette fin, l'AIEA a défini les éléments d'une stratégie visant à renforcer l'aptitude des États membres à utiliser l'hydrologie isotopique dans la gestion de leurs ressources en eau (*voir encadré, ci-contre*).

L'hydrologie isotopique peut permettre d'améliorer globalement la gestion des ressources en eau, mais elle doit d'abord être reconnue comme étant un instrument clé facilitant la prise de décisions face à certains problèmes. Souvent, les partenaires de l'Agence qui travaillent dans des laboratoires d'hydrologie isotopique ne connaissent pas les besoins et les exigences en matière de données des sociétés d'ingénierie auxquelles les organismes de gestion des eaux s'adressent pour étudier et résoudre les problèmes

liés à la rareté et à la qualité de l'eau.

C'est pourquoi la stratégie appliquée dans le cadre du Programme de coopération technique de l'Agence consiste à placer l'accent sur des projets qui visent à apporter des solutions précises à un problème technique et à conclure des partenariats avec des intervenants nationaux et internationaux. Les partenariats conclus avec la Banque mondiale et avec d'autres institutions financières internationales sont particulièrement importants car généralement, les programmes financés par des capitaux extérieurs traduisent à la fois une priorité élevée et un ferme engagement des autorités nationales.

L'expérience montre que les techniques isotopiques permettent d'obtenir des données techniques et des informations qui peuvent aider les principaux intervenants associés à la gestion de l'eau à prendre des décisions et à protéger les investissements opérés au niveau national. Ces contributions ne prennent cependant pleinement leur valeur que si elles répondent directement aux objectifs fixés à l'échelon national dans ce domaine. C'est pourquoi, si l'on veut satisfaire les besoins en matière de données et d'informations des organismes nationaux de gestion des eaux, il est impératif de programmer avec soin les projets de coopération technique de l'AIEA dans le domaine de l'hydrologie isotopique. Les activités menées dans le cadre des derniers projets régionaux mis en œuvre en Afrique méridionale et orientale illustrent bien ces efforts. Une éventuelle troisième génération d'activités aura pour but de lier les moyens mis en place dans les régions septentrionale, méridionale et orientale de l'Afrique à ceux faisant leur apparition en Afrique occidentale. □

TECHNIQUES NUCLÉAIRES ET SÉCURITÉ ALIMENTAIRE DOMAINES DE PROGRÈS

JAMES DARGIE

Les isotopes et les rayonnements ionisants sont utilisés depuis un demi-siècle pour fournir des solutions pratiques aux nombreux problèmes de développement alimentaire et agricole que connaît la planète. Depuis le milieu des années 60, l'AIEA et l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) collaborent par l'intermédiaire de la Division mixte FAO/AIEA, associant le savoir-faire et l'expérience qu'ils ont accumulés sur les plans technique et organisationnel pour faire profiter des bienfaits des techniques nucléaires les agriculteurs et les consommateurs.

Bien des choses ont changé depuis 1965, date à laquelle cette collaboration a été instituée. Premièrement, les pays que le partenariat avait pour objet de desservir ont connu des bouleversements – souvent radicaux. La transition s'est caractérisée en particulier par la décentralisation des fonctions gouvernementales, par un exode massif des populations vers les zones urbaines, par une mondialisation croissante du commerce et des communications, et par une intensification des dispositifs réglementaires mondiaux et régionaux.

Ces tendances politiques, sociales et économiques ont et continueront d'exercer une influence sur chacun d'entre nous – en particulier sur ceux qui travaillent, directement ou indirectement, pour le secteur alimentaire et agricole. L'importance de ces facteurs peut être difficile à appréhender pour

des personnes qui, dans des pays industrialisés, travaillent dans l'industrie, le commerce, voire le secteur public et bénéficient de plus en plus souvent de produits alimentaires abondants et peu onéreux provenant de l'agriculture mondiale. Or, pour la vaste majorité de la population mondiale – habitants de pays en développement, où le secteur agricole fournit les aliments, les matières premières, les emplois et les revenus essentiels à la vie quotidienne –, ils sont une source de préoccupations considérables.

Ils sont aussi une source de préoccupation pour les gouvernements, qui admettent de plus en plus que sans amélioration du secteur alimentaire et agricole – moteur du développement durable –, il est difficile de lutter contre la faim et la pauvreté, de développer les secteurs non agricoles, ou d'améliorer l'offre de services publics à la population.

Ces considérations ont, à leur tour, incité à s'interroger sur la façon dont le système des Nations Unies pourrait aider les pays, collectivement et individuellement, à promouvoir le développement par l'agriculture d'une façon qui garantisse l'équité sur le plan de l'accès à la nourriture, et soit économiquement et écologiquement durable.

Ce débat a culminé avec la tenue, en 1996, du Sommet alimentaire mondial organisé à Rome par la FAO. Ce sommet s'est déroulé avec, en toile de fond, plus de 840 millions d'individus – soit 20% de la population des pays en développement – souffrant de faim ou de malnutrition, et la

perspective de voir la population mondiale augmenter d'environ 80 millions habitants par an dans un proche avenir. Il a non seulement sensibilisé l'opinion mondiale aux écarts inacceptables et de plus importants relevés en matière de sécurité alimentaire entre les pays industrialisés et la plupart des pays en développement mais aussi – fait plus important – posé, par l'intermédiaire de son plan d'action, les fondements d'une promotion de la sécurité alimentaire pour tous.

Selon ce plan d'action, c'est aux pays eux-mêmes qu'il incombe d'obtenir des résultats. Il y est souligné le rôle que doivent jouer les institutions des Nations Unies en facilitant, par l'offre d'orientations, l'élaboration d'instruments internationaux appropriés et en soutenant le renforcement des moyens régionaux et nationaux d'exécution et de suivi des programmes agricoles. Il y est également reconnu l'importance de la recherche agronomique, du développement de l'agriculture et de l'enseignement agricole. Ces éléments doivent être pris en compte non seulement pour améliorer et transférer les connaissances et les techniques proprement dites, mais également pour développer et promouvoir la mise en œuvre d'instruments, de normes et de politiques internationaux, régionaux et nationaux fondés sur données scientifiquement rationnelles.

M. Dargie est directeur de la Division mixte AIEA/Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO).

TECHNIQUES NUCLÉAIRES EN PERSPECTIVE

Les techniques nucléaires sont principalement des outils de recherche qui contribuent, en fin de compte, à accélérer le développement. Elles ne doivent pas être considérées comme une fin en soi, mais plutôt comme un complément d'autres techniques permettant de comprendre et de résoudre des problèmes.

La question essentielle à laquelle doivent répondre les systèmes nationaux de recherche agronomique et les responsables gouvernementaux est la suivante : pourquoi avons-nous besoin des techniques nucléaires – ne pouvons-nous pas nous en passer ? La réponse dépend de la nature du problème. Invariablement, en effet, le problème peut être résolu sans recourir aux applications nucléaires. Parfois, cependant, elles sont nécessaires si l'on veut obtenir un résultat satisfaisant. Les techniques nucléaires, lorsqu'on les utilise, doivent être intégrées à des techniques non nucléaires (ou classiques) si l'on veut obtenir un résultat réellement intéressant, et leur utilisation doit reposer sur une solide base de recherches et de connaissances.

Du point de vue du Programme mixte FAO/AIEA, il est donc essentiel d'adopter une démarche hautement sélective et axée sur les résultats. Le Programme a pour vocation de proposer des services techniques aux agriculteurs et aux consommateurs des États membres de l'AIEA et de la FAO. Les applications nucléaires ne sont encouragées que lorsqu'elles sont indispensables pour mieux comprendre ou résoudre un problème stratégique et largement reconnu faisant obstacle au développement agricole, et non pour encourager une recherche ayant des perspectives limitées d'application pratique dans un proche avenir. On se refuse à mettre en avant les techniques

nucléaires comme une fin en soi afin de faire en sorte que le Programme et ses promoteurs conservent leur pertinence et leur crédibilité auprès des milieux scientifiques et politiques.

La pertinence et la crédibilité du Programme reposent sur sa connaissance des priorités intergouvernementales et internationales en matière de recherche et de développement. Celles-ci sont formulées au sein de la FAO elle-même et du Groupe consultatif pour la recherche agricole internationale, organe que la FAO cofinance avec la Banque mondiale et d'autres bailleurs de fonds. En outre, le Programme reçoit régulièrement, des systèmes nationaux de recherche agronomique, des informations qui l'aident à maintenir le cap sur des questions et problèmes mondiaux et régionaux revêtant une importance stratégique, et à répondre aux besoins et priorités des pays.

Le présent article passe en revue les résultats de projets de la Division mixte FAO/AIEA qui ont contribué au développement de l'alimentation et de l'agriculture. Dans certains domaines, il actualise des rapports précédemment publiés concernant les activités de la Division et du Laboratoire FAO/AIEA d'agronomie et de biotechnologie, qui soutient le Programme mixte*. L'article porte en particulier sur trois des questions stratégiques clés désignées à l'attention des gouvernements lors du Sommet alimentaire mondial et, plus tôt, à la Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement en 1992. Chaque question peut être traitée efficacement grâce aux techniques nucléaires soutenues par d'autres techniques, par les infrastructures nationales, et par un environnement politique et économique favorable.

PRODUCTION VÉGÉTALE ET ANIMALE

Satisfaire les besoins alimentaires des populations de plus en plus nombreuses des pays en développement représente un formidable défi, qu'il faut relever en tenant compte des niveaux encore faibles de consommation par habitant et des préférences alimentaires changeantes de sociétés de plus en plus urbanisées. La solution consistera à maintenir une forte croissance à la fois des denrées alimentaires de base et des produits végétaux et animaux à valeur élevée, et ce de façon à contrer la concurrence mondiale croissante qui caractérise ces aliments et produits.

Pour relever ce défi, il faut aussi veiller à ce que l'intensification et la diversification s'opèrent de façon bénéfique. Elles doivent garantir que les biens et services publics essentiels fournis par l'agriculture – sol, eau, ressources génétiques végétales et animales – seront disponibles durablement, et que les autres intrants essentiels nécessaires – engrais et pesticides, par exemple – ne pollueront pas l'environnement ou ne laisseront pas de niveaux inacceptables de résidus dans les produits.

Trois autres considérations doivent être gardées à l'esprit. Premièrement, la plupart des pays ne possèdent tout simplement pas de terres supplémentaires où produire des aliments, des cultures ou du bétail de façon industrielle. Deuxièmement, dans de nombreux pays, la terre est de plus en plus atteinte par l'érosion des sols, la salinisation ou l'acidification, qui réduisent son potentiel de production. Troisièmement, les ressources

Voir, par exemple, "Les techniques nucléaires au service de l'alimentation et de l'agriculture : 1964-1994", Bjoern Sigurbjoernsson et Peter Vose, Bulletin de l'AIEA, Vol. 36, n° 3 (Septembre 1994).

génétiques végétales et animales dont dépend la production agricole et alimentaire s'érodent rapidement du fait de l'adoption généralisée de quelques variétés et races à haut rendement.

Il est nécessaire d'inverser ces tendances par des politiques et des techniques favorisant la conservation et l'usage rationnel des sols, de l'eau et des ressources génétiques si l'on veut satisfaire les besoins immédiats et à long terme en matière de production et de sécurité alimentaires, et maintenir la cohésion sociale.

L'intérêt des techniques nucléaires, dans ce domaine, réside avant tout dans leur sensibilité et leur spécificité uniques en tant que marqueurs. Elles peuvent servir à mesurer – plus précisément que les méthodes classiques – les processus élémentaires mais essentiels qui se déroulent dans et entre les sols, les plantes et les animaux, et qui régissent l'utilisation et la conversion des ressources en produits utiles. Deuxièmement, l'intérêt des applications nucléaires réside dans leur aptitude à provoquer des changements dans la composition génétique des plantes.

Ces outils permettent donc de mesurer des niveaux d'éléments et de molécules biologiquement importants et, partant, des processus revêtant une importance pour l'agriculture. Ils permettent également de détecter ou de modifier ce qui se passe pendant ces processus, et d'étudier la fréquence de ce qui se produit lorsqu'on introduit des changements sur le plan de la gestion des ressources et/ou de la génétique. Un autre avantage est qu'ils offrent un vaste potentiel pour ce qui est d'améliorer la diversité des plantes cultivées.

Tout cela est, bien entendu, très intéressant. Mais en quoi cela aide-t-il à améliorer la productivité des cultures et de l'élevage ou à lutter contre des problèmes tels

que la salinité ou l'érosion des sols ou, d'ailleurs, favorise-t-il la conservation et l'utilisation rationnelle des ressources génétiques végétales et animales ?

Sans entrer dans tous les détails techniques, la réponse consiste à utiliser ces différents attributs des techniques nucléaires à des fins distinctes.

Premièrement, elles peuvent permettre de mieux caractériser ce qui se passe dans les sols, les cultures et les animaux dans le cadre de certains systèmes de gestion. Ensuite, la même combinaison d'outils peut être utilisée pour suivre les effets d'interventions destinées à réduire ou à éliminer la contrainte en question. Enfin, et sous réserve de résultats positifs étayés par des essais pilotes, la meilleure pratique ou variété peut être évaluée par des décideurs en vue de son transfert effectif vers les utilisateurs et bénéficiaires finals.

On trouvera ci-après quelques exemples récents de cette approche, qui servent à illustrer comment les techniques nucléaires peuvent être utilisées non seulement pour accroître la production, mais aussi pour améliorer des éléments clés intrinsèques à un développement durable de la production alimentaire et agricole.

■ Rendement de l'utilisation de l'eau et des engrais en Asie occidentale.

Le problème : La plupart des pays en développement des régions semi-arides connaissent de graves pénuries d'eau et les engrais azotés sont onéreux. La demande de cultures alimentaires et industrielles de valeur plus élevée augmente du fait de l'urbanisation rapide, de même que la nécessité de promouvoir des emplois extra-agricoles locaux pour développer l'accès aux marchés des aliments et des produits de base.

La méthode : Aider les systèmes nationaux de recherche agronomique et les agriculteurs

participants à utiliser des sondes hygrométriques à neutrons et des engrais marqués à l'azote 15 pour identifier, tester et développer les techniques et pratiques de gestion qui conduisent à une utilisation plus efficace de l'eau et des engrais azotés dans les cultures. Cette activité a principalement consisté à déterminer les avantages d'un apport d'eau et d'urée par irrigation au goutte à goutte (irrigation fertilisante) par rapport à la pratique traditionnelle de l'irrigation par rigoles et de l'application d'urée en ligne.

Les résultats : La quantité d'eau utilisée pour cultiver le coton pendant la saison a été de 4900 mètres cube par hectare (m^3/ha) avec l'irrigation au goutte à goutte contre 7600 m^3/ha avec la méthode traditionnelle d'application en surface, ce qui représente une économie de 36%. Le rendement de l'eau utilisée pour produire de la biomasse végétale a presque doublé grâce à l'irrigation au goutte à goutte. De surcroît, la quantité de graines de coton récoltées par irrigation fertilisante a été de 22% supérieure à celle obtenue par les méthodes traditionnelles de fumure et d'irrigation. L'irrigation fertilisante s'est donc révélée très efficace pour maintenir ou augmenter le rendement des cultures tout en conservant l'eau et les engrais azotés.

■ Production de légumineuses à grains au Bangladesh.

Le problème : Les légumineuses à grains (lentilles, pois chiches, arachide, haricot velu et fève de soja) font partie intégrante de l'alimentation quotidienne au Bangladesh. La production satisfait environ 90% de la demande locale, le manque étant comblé par l'importation. Il est nécessaire d'augmenter la production sur les exploitations existantes si l'on veut améliorer la sécurité alimentaire et économiser les devises étrangères.



La méthode : Recours à la dilution d'isotopes d'azote 15 pour identifier les souches de rhizobium optimales pouvant servir d'inoculum ainsi que des génotypes de légumineuses ayant un potentiel de rendement élevé et une bonne aptitude à fixer l'azote. Renforcement de l'aptitude des pays à produire et à contrôler la qualité des inoculums et à faire valoir ces techniques auprès des services de développement et des agriculteurs.

Les résultats : Des études menées à l'échelle du pays ont démontré la possibilité d'accroître la production de légumineuses à grains par l'inoculation et la sélection de génotypes ; il a été créé une usine pilote de production à grande échelle et de contrôle de qualité d'inoculums ; et l'application généralisée de cette technique devrait permettre d'augmenter de 25% la production des légumineuses de base et, partant, d'économiser sur les importations, y compris les engrais.

■ **Diagnostic d'érosion des sols.**

Le problème : L'érosion des sols fait peser une grave menace sur la sécurité alimentaire mondiale. Or, l'adoption de mesures de lutte

efficaces par rapport au coût au niveau tant des exploitations que des paysages est entravée par des méthodes inadéquates et généralement onéreuses. Un outil de diagnostic qui pourrait être appliqué facilement et de façon universelle permettrait de mettre en avant de meilleures stratégies de conservation des sols.

La méthode : Mise en place, au sein des systèmes nationaux de recherche agronomique de pays caractérisés par divers climats et paysages, de moyens permettant d'utiliser la répartition spatio-temporelle de radionucléides artificielles et naturelles telles que le césium 137 pour estimer les taux de redistribution des sols. Comparaison des résultats avec ceux obtenus par les méthodes existantes pour déterminer le potentiel offert par la méthode nucléaire.

Les résultats : Le césium 137 offre un moyen fiable de mesurer l'érosion et la sédimentation des sols à l'échelle d'un paysage. Cette méthode est maintenant utilisée pour aider les décideurs à sélectionner les méthodes et techniques permettant le mieux de conserver les sols et l'eau.

■ **Culture du sorgho au Mali.**

Le problème : Le sorgho est la deuxième culture vivrière du Mali, où elle est pratiquée sur 560 000 hectares avec un rendement

moyen de seulement 980 kg/ha. De nouvelles variétés de sorgho à rendement plus élevé, utilisant un matériel génétique local, sont nécessaires pour améliorer la production alimentaire et préserver la biodiversité pour les futures générations. Puisque les agriculteurs souhaitent également des plantes à grandes tiges pour nourrir le bétail et construire des silos à grain et des auvents d'ombrage, un autre défi consiste à répondre à ce besoin.

La méthode : Aider le principal institut de phytogénétique du Mali à intégrer des méthodes de mutation aux programmes existants d'amélioration du sorgho. Les activités ont consisté à exposer du matériel local à des rayons gamma, à sélectionner les variations souhaitées, puis à tester les cultures sur le terrain dans différentes conditions agro-écologiques.

Les résultats : Huit mutants améliorés convenant à différentes régions de culture du sorgho au Mali sont maintenant inclus dans la liste des variétés recommandées aux agriculteurs par le Ministère de l'agriculture. Ces mutants ont un rendement potentiel de 2000 à 2500 kg/ha et mesurent entre 1,5 et 4,5 mètres de haut, avec de long panicules. Certains sont à maturation rapide ; d'autres ont une tolérance accrue à la sécheresse. Des graines ont été distribuées à 2000 agriculteurs en vue d'une validation élargie des rendements sur le terrain.

■ **Culture du pois chiche au Pakistan.**

Le problème : Le Pakistan est le troisième producteur mondial de pois chiches. Le pois chiche est une source importante et économique de protéines et d'hydrates de carbone et fait partie intégrante de l'alimentation quotidienne. Chaque année, il est cultivé plus d'un million d'hectares, mais les rendements sont très faibles, d'environ 600

Photo : Coton cultivé par irrigation fertilisante en Asie occidentale.

kg/ha. L'un des principaux obstacles à une amélioration des rendements est la susceptibilité des cultures aux maladies fréquentes que sont la graisse du pois chiche et la fusariose.

La méthode : Aider l'Institut nucléaire d'agriculture et de biologie (NIAB) à mettre en œuvre un programme d'amélioration génétique visant à induire, par des mutations, une résistance du pois chiche aux maladies.

Les résultats : Le projet a abouti à la production de la première variété mutante de pois chiche à haut rendement – connue sous le nom de "CM-72", qui résiste à la graisse du pois chiche. Les rendements obtenus dans la province de la Frontière du Nord-Ouest sont maintenant supérieurs de 45% à la moyenne des cinq années précédentes. Depuis, il a été produit une autre variété mutante, le "CM-88", qui résiste aux deux maladies et offre donc un autre moyen de résistance aux cultivateurs de pois chiches. Les deux variétés mutantes couvrent 70% des zones de culture du pois chiche au Pakistan.

■ Petites entreprises laitières d'Asie et d'Amérique latine.

Le problème : La demande de produits d'élevage augmente rapidement dans de nombreux pays en développement du fait de l'urbanisation et de la croissance des revenus. Le lait et ses produits dérivés offrent d'importantes possibilités d'emplois extra-agricoles et une meilleure sécurité alimentaire.

La méthode : Aider les petits producteurs et les services d'insémination artificielle à tirer meilleur parti, au moyen d'isotopes et de radio-immunodosages hormonaux, du bétail issu de croisements alternatifs ; et à définir, compte tenu des ressources locales, des régimes alimentaires répondant à la fois aux besoins nutritionnels

accrus de ces animaux et aux exigences spécifiques liées à leur prise en charge reproductive et zootechnique.

Les résultats : Des aliments d'appoint connus sous le nom de cubes urée-mélasse-multinutriments et des formules apparentées tirant parti d'ingrédients locaux ont fait la preuve de leur efficacité par rapport au coût pour améliorer la productivité tout en préservant et en utilisant durablement les ressources naturelles. En Asie, environ 1600 tonnes de ces cubes sont actuellement servis à 25000 animaux appartenant à quelque 6000 exploitants. Les rendements laitiers ont augmenté en moyenne de 20% tandis que le coût de l'alimentation animale a diminué de trois fois.

De même, en Amérique latine, la fourniture d'aliments d'appoint s'est soldée par une meilleure utilisation des aliments fibreux disponibles. Elle a permis aux agriculteurs de certains pays d'élever quatre fois plus d'animaux qu'auparavant par unité de savane.

Le rendement reproductif s'est aussi considérablement amélioré, si bien que les agriculteurs envisagent de plus en plus d'augmenter encore la productivité en améliorant les races par l'insémination artificielle. Il est clair, cependant, qu'en mesurant la progestérone dans le lait, les éleveurs manquent entre 30 et 50% des périodes de chaleur des vaches. Sur les périodes détectées, entre 15 et 20% sont probablement incorrectes. Les améliorations apportées en matière de détection des chaleurs, de programmation des accouplements et d'efficacité globale des services d'insémination artificielle ont réduit d'un à trois mois les intervalles entre vêlage et conception. Cela a permis d'obtenir davantage de lait et de veaux par vache et une

augmentation de 10 à 30% des revenus des propriétaires. En outre, la réduction du nombre d'inséminations artificielles pratiquées à des moments inappropriés a permis d'économiser les ressources de ces prestataires de services, qui sinon auraient été gaspillées.

INSECTES RAVAGEURS ET MALADIES, FLÉAUX TRANSFRONTALIERS

À mesure que l'agriculture et l'élevage s'intensifient et se diversifient, certains risques augmentent : risques de perte et d'atteinte à la qualité des produits liés aux insectes ravageurs et aux maladies qu'ils transmettent, ainsi qu'à diverses autres maladies transmises au bétail par des virus, des bactéries et des parasites.

En outre, certains de ces insectes ravageurs de cultures et plusieurs des maladies virales et autres du bétail (connues sous le nom de "Liste A") font l'objet de mesures rigoureuses de quarantaine internationalement acceptées. Ces mesures sont prises en vertu de la Convention internationale pour la protection des végétaux administrée par la FAO et du Code zoosanitaire international de l'Office international des épizooties (OIE), qui sont acceptés par l'Organisation mondiale du commerce (OMC) comme étant les normes de commerce international applicables au titre de l'Accord sanitaire et phytosanitaire (ASP) négocié dans le cadre du cycle de négociations d'Uruguay.

Plusieurs facteurs font qu'il devient indispensable et urgent de trouver des solutions. L'un d'entre eux est le risque de propagation transfrontalière de ces ravageurs et maladies. Ce risque est renforcé par l'intensification du mouvement des produits et du bétail, la tendance à une intensification du recours aux pesticides, et le risque de niveaux



inacceptables de résidus et de dommages causés aux plantes, aux animaux et au patrimoine génétique des insectes. Les recherches s'orientent vers des méthodes plus intégrées, biologiquement rationnelles et localisées de lutte contre les ravageurs et les maladies, capables, autant que possible, de conduire à l'éradication.

Le rôle des techniques nucléaires, dans ce domaine, s'est considérablement développé ces dernières années. On utilise, par exemple, des rayonnements ionisants pour stériliser sans modifier par ailleurs le comportement des insectes ravageurs, qui sont ensuite relâchés en grands nombres pour contrôler ou éradiquer des populations sauvages (technique dite de l'insecte stérile). On utilise également des radio-isotopes pour mettre au point des tests spécifiques (tels que le dosage immuno-enzymologique, dit ELISA) nécessaires pour diagnostiquer et surveiller l'efficacité de programmes de vaccination contre les principales maladies qui entraînent des pertes de cheptel dans les pays en

Photo : Dans le cadre de la campagne d'éradication menée à Zanzibar, un centre de production de mouches tsé-tsé a été mis en place à Tanga.

développement et entravent le commerce.

On trouvera ci-après des exemples de progrès accomplis récemment :

■ **Éradication de la mouche méditerranéenne des fruits en Amérique latine.**

Le problème : Le Chili et l'Argentine figurent parmi les principaux producteurs mondiaux de fruits de climat tempéré.

L'introduction accidentelle de la mouche méditerranéenne des fruits en Amérique latine au début des années 90 a contraint les cultivateurs à éliminer les variétés de fruits les plus atteintes par le ravageur et à entreprendre des traitements réguliers à l'insecticide pour pouvoir vendre des fruits indemnes. Néanmoins, les principaux pays importateurs de fruits qui sont exempts de ce ravageur exigent que les fruits soient soumis, après la récolte, à des traitements onéreux, faute de quoi ils placent les fruits en quarantaine par peur d'épidémies liées à la présence de la mouche dans les chargements commerciaux.

La méthode : Aider le Service chilien de l'agriculture à mettre en œuvre un programme d'éradication par la technique de l'insecte stérile en construisant un centre d'élevage en masse de mouches méditerranéennes des fruits ayant une capacité de production d'environ 60 millions de mouches stériles par semaine, et faciliter la libération de mouches stériles par voie aérienne. Aider également l'Argentine à construire un centre d'élevage ayant une capacité de production hebdomadaire de plus de 200 millions de mouches stériles et lancer un programme d'éradication dans les provinces de Rio Negro, Nequen et Medoza.

Les résultats : L'éradication a été obtenue au Chili et le pays est désormais internationalement reconnu comme étant exempt de

la mouche méditerranéenne des fruits. Ce statut a considérablement favorisé le développement de son industrie, qui exporte plusieurs milliards de fruits. En Argentine, la production de fruits de climat tempéré s'est considérablement améliorée sur le plan tant de la quantité que la qualité, les applications d'insecticide ont diminué dans les vergers commerciaux, et plusieurs vallées de production de fruits sont maintenant reconnues par le Chili voisin comme étant exemptes de mouche. En 1999, le Chili a autorisé les industries fruitières des provinces de Mendoza et de Patagonie à utiliser ses ports pour exporter leurs fruits.

■ **Lutte contre la mouche méditerranéenne des fruits en Israël et en Jordanie.**

Le problème : La mouche méditerranéenne des fruits peut entraîner d'importantes pertes de production de légumes dans la vallée de l'Arava (Israël et Jordanie), sa présence empêchant d'accéder à des marchés d'exportation lucratifs. Le coût de l'épandage d'insecticide dans les cours et dans les zones agricoles est élevé et les applications continues d'insecticide posent d'importants problèmes écologiques.

La méthode : Aider les autorités chargées de la protection des cultures et les cultivateurs de ces pays à lutter contre la mouche méditerranéenne des fruits en intégrant la technique de l'insecte stérile aux méthodes traditionnelles en utilisant des mouches stériles importées du Guatemala.

Les résultats : Les populations de mouche méditerranéenne des fruits ont considérablement diminué dans toutes les exploitations, de même que les quantités de fruits et de légumes infestés par les larves. Par ailleurs, les quantités d'insecticide employées ont fortement diminué, les mouches stériles remplaçant les

épandages. Le volume et la valeur des exportations ont augmenté de façon exponentielle. En supposant que la vallée de l'Arava devienne exempte de mouches méditerranéennes des fruits, les producteurs vont pouvoir développer et diversifier leurs cultures en tirant avantage de l'absence de pesticides et de ravageurs pour proposer des poivrons et des tomates sur les marchés mondiaux.

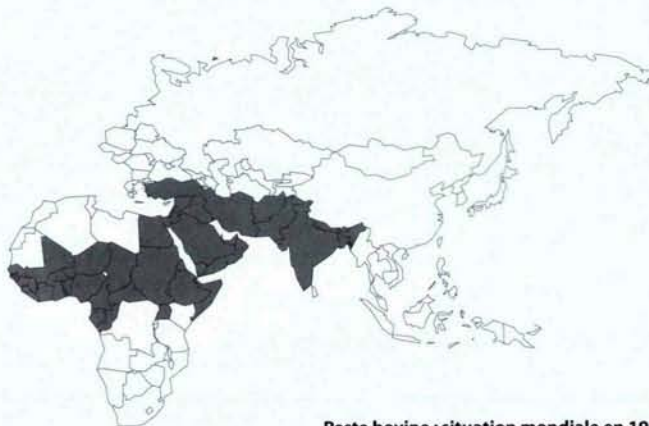
■ Éradication de la mouche tsé-tsé à Zanzibar.

Le problème : La maladie connue sous le nom de trypanosomiase touche le bétail et les humains dans la majeure partie des 10 millions de kilomètres carrés de l'Afrique subsaharienne. Elle est transmise par près de 30 espèces de mouche tsé-tsé et représente, dans de nombreuses régions, un obstacle majeur à l'établissement d'exploitations agricoles viables. Il n'est pas possible de vacciner le bétail contre la maladie, et l'on n'en finit pas de lutter contre les mouches et la maladie au moyen d'insecticides et de médicaments. L'éradication est une solution à long terme. Pour déterminer sa faisabilité technique, il fallait réaliser une démonstration à l'échelle d'une région en intégrant la technique de l'insecte stérile à l'emploi d'insecticides.

La méthode : Le site retenu pour le projet de démonstration a été l'île de Zanzibar (1500 km²), où prévalait l'une des espèces de la mouche. Un centre destiné à produire environ un million de tsé-tsé femelles a été mis sur pied à l'Institut de recherche sur la mouche tsé-tsé et la trypanosomiase de Tanga (Tanzanie) et, sur une période de 18 mois, environ 60000 mâles stériles ont été relâchés chaque semaine sur l'île.

Les résultats : La surveillance intensive des mouches et du bétail a confirmé que la mouche tsé-tsé

PESTE BOVINE : SITUATION MONDIALE EN 1987 ET EN 2000



Peste bovine : situation mondiale en 1987



Peste bovine : situation mondiale en 2000

et la maladie avaient été éradiquées de Zanzibar. Ce résultat permet d'envisager l'introduction généralisée, sur l'île, de races de bovins plus productives.

■ Éradication mondiale de la peste bovine

Le problème : La peste bovine est sans doute la plus dévastatrice de toutes les maladies bovines. En 1986, on s'est fixé pour objectif de l'éradiquer, ainsi que le virus qui en est à l'origine, dans le monde entier d'ici à 2010. On disposait d'un vaccin qui avait fait ses preuves. Il restait cependant à mettre au point une méthode

fiable et internationalement acceptée permettant de diagnostiquer rapidement la maladie et de tester les importantes quantités de prélèvements sanguins transmis aux centres d'étude vétérinaires pour contrôler l'efficacité des campagnes de vaccination de masse et, au besoin, les réorienter.

La méthode : Aider les autorités vétérinaires à mettre au point une épreuve d'immunodosage rapide, simple et normalisée ainsi que les stratégies et moyens permettant de l'appliquer pendant des campagnes de vaccination de

masse. Ensuite, de recenser les poches restantes et de contrôler l'absence, au niveau national, de la maladie et de l'infection.

Les résultats : Les données obtenues à l'aide de l'épreuve ont permis d'évaluer sur le plan quantitatif les programmes de vaccination et les activités de surveillance mises en œuvre par la suite, autorisant à penser que seuls sept pays restent infectés contre plus de 30 en 1986. Il est fort probable que l'objectif de l'éradication mondiale sera atteint dans les délais.

■ **Lutte contre la fièvre aphteuse et éradication de cette maladie en Amérique latine et en Asie.**

Le problème : Ces 60 dernières années, la fièvre aphteuse a représenté le principal obstacle non tarifaire au commerce du bétail, et des efforts considérables ont été déployés pour lutter contre cette maladie ou pour l'éradiquer. Pour cela, il est indispensable de disposer d'un diagnostic efficace et rapide permettant d'orienter les activités de vaccination et de vérifier que les animaux et les régions sont exempts de fièvre aphteuse.

La méthode : Aider les laboratoires vétérinaires nationaux à mettre au point et à appliquer le test ELISA tant pour obtenir un diagnostic rapide et précis que pour distinguer les animaux vaccinés des animaux naturellement infectés. Cette activité est indispensable dans les régions ou pays s'orientant vers une reconnaissance internationale d'exemption de la maladie.

Le résultat : Le Chili, l'Uruguay et certaines régions de l'Argentine et du Brésil sont maintenant internationalement certifiés exempts de la fièvre aphteuse. De nombreux autres pays d'Amérique latine et d'Asie mettent en œuvre d'importants programmes d'éradication bénéficiant de l'application de ces indispensables épreuves d'immunodosage.

QUALITÉ ET INNOCUITÉ DES PRODUITS ALIMENTAIRES

Pour garantir la sécurité alimentaire, il ne suffit pas de produire des aliments et des cultures industrielles, ni d'élever du bétail et de le protéger des ravageurs et des maladies. Il faut aussi réduire les pertes beaucoup trop élevées qui se produisent après la récolte ou l'abattage, et faire en sorte que les produits qui parviennent aux consommateurs soient sains, de qualité, et ne présentent pas de risques inacceptables pour la santé des plantes et des animaux.

Plusieurs évolutions ont focalisé l'attention sur les problèmes de qualité et d'innocuité des produits alimentaires. Les pays en développement intensifient et diversifient leur production, une population de plus en plus importante migre vers les grands centres urbains, et les possibilités de commerce se développent. Ces évolutions accroissent les risques de détérioration des aliments et les risques pour la santé humaine liés aux micro-organismes pathogènes, aux pesticides et aux résidus de médicaments vétérinaires. Elles font également peser, sur la santé des plantes et des animaux, des risques liés aux insectes ravageurs et aux agents pathogènes, risques qui font l'objet de mesures internationales de quarantaine.

Les mesures visant à assurer la qualité et l'innocuité des produits alimentaires et la protection des plantes et des animaux sont, dans tous les pays, des éléments essentiels de la protection des consommateurs et des agriculteurs. Pour les pays qui souhaitent aborder les marchés mondiaux ou y renforcer leur position, ces éléments revêtent une importance croissante depuis la création de l'OMC et la conclusion des accords relatifs aux mesures sanitaires et phytosanitaires et aux obstacles techniques au commerce. Ces

accords fixent, pour l'essentiel, les conditions préalables au commerce. Ils sont étayés par les normes techniques établies par la Commission du Codex Alimentarius (FAO/OMS), la Convention internationale pour la protection des végétaux administrée par la FAO et le Code zoosanitaire international de l'OIE.

L'une des rares techniques utilisées pour résoudre ces problèmes est l'irradiation des aliments. Elle permet de lutter contre la détérioration des aliments, les micro-organismes pathogènes d'origine alimentaire et les insectes ravageurs sans compromettre de façon importante les attributs sensoriels et autres des produits alimentaires.

En outre, les méthodes d'analyse nucléaire – chromatographie en phase gazeuse par capture d'électrons, fluorescence des rayons X et radio-immunodosage couplés à l'utilisation de composés isotopiquement marqués – sont des éléments essentiels de l'arsenal utilisé par les organismes de contrôle alimentaire. Ces organismes utilisent ces outils pour analyser des échantillons d'aliments afin de vérifier leur conformité aux normes du Codex et d'améliorer les méthodes d'échantillonnage et d'analyse.

Ces dix dernières années, d'importants progrès ont été accomplis dans différents domaines :

■ **Lutte contre les maladies d'origine alimentaire.**

Le problème : L'incidence généralisée et croissante des maladies d'origine alimentaire causées par des bactéries et des parasites pathogènes et leur impact socio-économique sur la population humaine ont fait de l'innocuité des produits alimentaires d'une des premières préoccupations des autorités sanitaires. Dans le monde, des centaines de millions d'individus

sont atteints de maladies causées par des aliments contaminés. Les ravages, sur le plan de la santé humaine, sont énormes, en particulier chez les nourrissons, les jeunes enfants, les personnes âgées et les autres groupes vulnérables.

La méthode : Aider les laboratoires de contrôle alimentaire à produire des données permettant de déterminer l'efficacité de l'irradiation dans la lutte contre les différents agents pathogènes présents dans des aliments tels que la viande, les volailles, les fruits de mer et les épices.

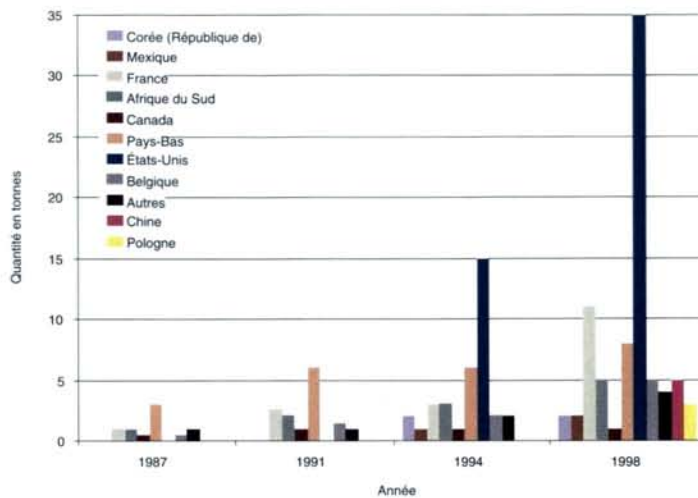
Les résultats : de nombreux pays, dont le Brésil, la Belgique, le Canada, la Chine, le Chili, la France, le Mexique, les Pays-Bas, l'Afrique du Sud, la Thaïlande et les États-Unis, utilisent l'irradiation pour lutter contre les bactéries et parasites pathogènes présents dans plusieurs produits alimentaires. Plusieurs irradiateurs commerciaux importants sont en construction, notamment aux États-Unis, pour traiter les aliments d'origine animale. L'irradiation est largement utilisée pour assurer la qualité hygiénique de quantité croissantes d'épices et d'assaisonnements (*voir graphique*).

■ Facilitation du commerce des fruits et légumes frais.

Le problème : Les fruits et légumes frais provenant des pays en développement sont souvent infestés par des mouches du genre tryptidé et ne peuvent accéder aux marchés des pays développés qui appliquent des mesures rigoureuses de quarantaine pour se prémunir contre ces ravageurs. Les traitements de quarantaine traditionnels présentent des limites techniques et certains sont progressivement supprimés dans le monde pour des raisons écologiques.

La méthode : Produire des données sur l'utilisation de l'irradiation en tant que traitement

QUANTITÉS ESTIMATIVES D'ÉPICES ET D'ASSAISONNEMENTS IRRADIÉS



de quarantaine contre les mouches des fruits et d'autres ravageurs importants des fruits et légumes. Faire évaluer ces informations de façon indépendante par le Groupe consultatif international sur l'irradiation des aliments pour obtenir un consensus international sur la faisabilité technique de cette application.

Les résultats : L'irradiation, en tant que traitement de quarantaine des fruits et légumes frais, est approuvée par les organisations régionales de protection des végétaux qui opèrent dans le cadre de la Convention internationale pour la protection des végétaux. Plusieurs pays, notamment les États-Unis et des membres de l'Association des nations de l'Asie du sud-est (ANASE), ont élaboré des politiques ou adopté des réglementations concernant cette technique. En 1995, une activité commerciale d'ampleur limitée a débuté aux États-Unis et une usine d'irradiation est en construction à Hawaii.

■ Contaminants et résidus alimentaires.

Le problème : Dans le contexte de la libéralisation du commerce mondial des produits alimentaires et agricoles, les aliments exportés

par les pays en développement doivent être conformes aux normes de sûreté et de qualité énoncées dans les accords de l'OMC. Il faut donc aider les laboratoires nationaux de contrôle alimentaire des pays en développement à renforcer leurs moyens d'analyse des contaminants et des résidus présents dans les aliments destinés au commerce international.

La méthode : Établir, au sein des laboratoires de l'AIEA, un Centre de formation et de référence FAO/AIEA pour le contrôle des aliments et des pesticides chargé de proposer des activités de formation, des services d'assurance de la qualité et des informations sur les méthodes d'analyse utilisées pour mesurer les contaminants et les résidus. Y seraient formés les personnels des laboratoires nationaux de contrôle alimentaire. Le but est d'aider ces laboratoires à obtenir une accréditation nationale/internationale pour l'analyse des contaminants et résidus présents dans les aliments visés par les normes du Codex.

Les résultats : Plus de 100 employés de laboratoires de contrôle alimentaire ont été formés aux méthodes d'analyse et

d'assurance de la qualité applicables aux pesticides, aux résidus de médicaments vétérinaires et aux mycotoxines dans le cadre de cinq cours régionaux et interrégionaux organisés aux laboratoires de l'Agence à Seibersdorf ainsi qu'en Hongrie, en Suède, en République de Corée et en Thaïlande. La participation subséquente de stagiaires à des programmes d'évaluation des compétences a confirmé les avantages et la viabilité de la formation dispensée. L'intensification des communications grâce à un Système international d'information sur le contrôle des aliments et les résidus alimentaires montre l'intérêt que présente, pour les laboratoires de contrôle alimentaire, une offre d'informations synthétisées et objectives.

LES RÉCOLTES DE DEMAIN

Lorsque les gens pensent à l'agriculture, ils pensent souvent à la campagne et aux agriculteurs cultivant des plantes et élevant du bétail. Lorsqu'ils pensent aux sciences et techniques nucléaires, ils pensent souvent aux réacteurs nucléaires.

Rares sont ceux qui établissent un lien entre ces deux domaines. Or, la technologie des réacteurs et l'agriculture moderne ont essentiellement suivi, pendant la seconde moitié du XXe siècle, des voies comparables. Tous deux ont été soutenus par d'importants investissements destinés à mettre sur pied les moyens intellectuels et les infrastructures nécessaires à la recherche fondamentale et appliquée requise pour améliorer les connaissances, développer et créer des techniques, et fixer des règles et des normes.

La vaste majorité des pays n'ont pas bénéficié directement de l'énergie nucléaire. Toutefois, d'une façon ou d'une autre, nombre d'entre eux bénéficient du flux constant de nouveaux

produits et des progrès réalisés grâce à la recherche-développement et aux études scientifiques.

Aujourd'hui, les agriculteurs, les transformateurs, les consommateurs et les pouvoirs publics bénéficient de pratiques, de techniques et de méthodes d'analyse qui utilisent les isotopes et les rayonnements ionisants – ou découlent de leur application – pour améliorer l'alimentation et l'agriculture. Bref, les investissements réalisés à l'appui de la recherche-développement dans les domaines nucléaire, biologique et agricole ont payé.

Au cours du demi-siècle écoulé, il s'est produit d'importants changements qui ont transformé les rapports existant entre les hommes et la terre. À l'aube du nouveau millénaire, ces changements posent des problèmes difficiles, qui appellent une coopération internationale efficace.

Le rôle primordial et essentiel de l'agriculture reste de produire des aliments et des biens primaires contribuant à la sécurité alimentaire. Ce rôle fondamental continue d'être le moteur du Programme mixte FAO/AIEA.

Il est tout aussi clair, cependant, que l'agriculture et la terre assument également des fonctions environnementales, économiques et sociales qui sont interconnectées. Certaines techniques et transformations peuvent présenter, à court terme, des inconvénients tels qu'une baisse de productivité, avant de produire, à plus long terme, des effets économiques et environnementaux. De nombreux changements, cependant, peuvent avoir l'effet inverse, menaçant à long terme le développement par une influence néfaste sur la fertilité des sols, la biodiversité et l'hygiène des aliments. Les institutions nationales, régionales et internationales doivent

examiner tous ces facteurs pour faciliter, dans toute la mesure possible, l'affectation des ressources, la fixation de règles, l'élaboration de politiques et la prise de décisions.

Ces dernières années, le Programme mixte FAO/AIEA a de plus en plus incité les États membres à examiner ces questions. Pour pouvoir formuler et sélectionner des politiques et des pratiques, il est nécessaire de mieux comprendre les synergies et les compromis qui doivent s'opérer entre les différentes fonctions pour satisfaire les futurs besoins du secteur agricole et de l'ensemble de la société. Il faut également instituer une plus grande coopération interdisciplinaire au sein des systèmes nationaux de recherche agronomique et entre ces systèmes pour engager une recherche stratégique sur les problèmes immédiats et à plus long terme.

Dans le cadre de ce concept global de multifonctionnalité, le Programme mixte s'est activement employé à aider les pays à se conformer à certains des principaux textes – conventions, accords et normes – internationalement acceptés qui soutiennent de plus en plus l'amélioration de l'alimentation et de l'agriculture. On s'attache par conséquent davantage à renforcer les moyens d'application des techniques nucléaires dont disposent les pays pour leur permettre d'évaluer et de prendre en charge les risques environnementaux et alimentaires découlant de pratiques visant à améliorer la productivité. Ainsi, le Programme aide les pays et les institutions qu'il dessert non seulement à résoudre les problèmes qui entravent la production agricole, mais aussi à reconnaître et à résoudre les nouveaux problèmes qui risquent de compromettre la sécurité alimentaire mondiale en ce début du XXIe siècle. □

NUCLÉAIRE ET SOINS DE SANTÉ DES AVANTAGES DURABLES

STEFFEN GROTH

Les applications nucléaires, s'agissant des soins de santé, ont la réputation – consacrée par l'usage – d'être très efficaces par rapport aux coûts pour résoudre d'importants problèmes de santé tels que la malnutrition, le cancer, les maladies infectieuses et les troubles circulatoires. Aujourd'hui, elle offrent des avantages durables aux patients, aux médecins, aux chercheurs et aux agents de santé dans le monde entier.

De nombreuses applications nucléaires sont devenues si bien établies et documentées qu'elles sont préférées à d'autres méthodes. Cela s'explique par le fait qu'elles fournissent souvent des informations médicales uniques, ou figurent parmi les solutions les moins onéreuses à un problème.

Certaines applications – présentées initialement comme des techniques nucléaires – ont progressivement évolué en applications n'ayant en soi aucune composante "nucléaire" (par exemple, de nombreux radio-immunosorages systématiques ont par la suite évolué en dosages immuno-enzymologiques ou ELISA). Les raisons de cette évolution ont souvent été l'automatisation rapide et/ou la simplicité. Dans le même temps, cependant, robustesse et précision étaient souvent sacrifiées.

Les applications nucléaires, dans le domaine des soins de santé, se subdivisent grossièrement en applications diagnostiques, thérapeutiques et préventives. Le présent article décrit plusieurs applications efficaces et bien établies dans le contexte des nouvelles orientations qui se dessinent.

DIAGNOSTIC MÉDICAL

Les applications diagnostiques comprennent des méthodes *in vivo* et *in vitro*. Les applications *in vivo* se caractérisent par l'administration d'un radiopharmaceutique au patient et, généralement, par une détection externe subséquente à l'aide d'une gamma-caméra ou de quelque autre détecteur. Les applications *in vitro* consistent à analyser des échantillons prélevés sur le patient, le plus souvent des prélèvements de sang.

Applications *in vivo*. Les applications *in vivo* représentent une forme importante de médecine nucléaire. Ces procédures ont pour principal rôle d'évaluer le fonctionnement des organes. Des radionucléides ou des éléments marqués à l'aide de radionucléides sont administrés aux patients pour pouvoir évaluer certaines fonctions organiques en suivant la biorépartition dynamique de cet élément dans certains organes. On suit l'élément par détection externe du photon émis par les radionucléides en utilisant des instruments tels que des scanners rectilignes ou des gamma-caméras.

La principale caractéristique des procédures de médecine nucléaire *in vivo* est probablement que la quantité de radiopharmaceutiques nécessaire pour les études

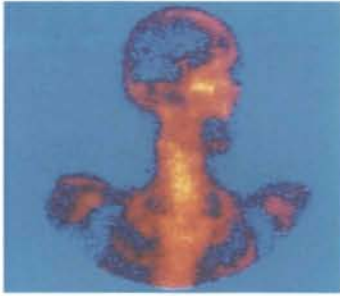
diagnostiques *in vivo* est très réduite et toujours de l'ordre de quantités physiologiques. Pour une scintigraphie thyroïdienne, par exemple, la quantité d'iode radioactive utilisée est plus de mille fois inférieure à la quantité d'iode absorbée quotidiennement avec les aliments. Elle n'a par conséquent aucune incidence mesurable sur la fonction thyroïdienne et aucun effet secondaire.

Par ailleurs, la dose radioactive reçue par le patient pour les scintigraphies est, dans la plupart des cas, négligeable. En règle générale, elle correspond environ, par examen, à la dose naturelle reçue pendant un an.

La méthode *in vivo* permet d'étudier plusieurs organes et systèmes. Ses principaux domaines d'application sont l'oncologie, l'endocrinologie, la cardiologie et la néphro-urologie. Les instruments et techniques nucléaires de diagnostic *in vivo* les plus largement utilisés forment une liste impressionnante (voir encadré, pages 38 & 39).

■ La **scintigraphie osseuse** est probablement la technique la plus couramment utilisée. Cette méthode est très efficace pour étudier le fonctionnement des os : toute lésion importante de l'os entraîne une augmentation du métabolisme osseux qui peut être détectée par la scintigraphie. Cette méthode est la façon la plus

M. Groth est directeur de la Division de la santé humaine de l'AIEA. Ont contribué au présent article M. Ajit Padhy, chef de la Section de médecine nucléaire de la Division ; M. Victor Levin, chef de la Section de radiobiologie appliquée et de radiothérapie ; M. Venkatesh Iyengar, chef de la Section des études de nutrition et d'écologie sanitaire ; M. Pedro Andreo, chef de la Section de dosimétrie et de radiophysique médicale ; et Mme Baldip Khan et M. Soo Ling Ch'ng, fonctionnaires de la Division.



efficace de rechercher des métastases osseuses de nombreux types de cancer. Elle est également utilisée en orthopédie pour l'étude des fractures, des ostéomyélites ou des prothèses articulaires.

■ La *scintigraphie myocardique de perfusion* est une autre technique de médecine nucléaire couramment utilisée. Cette épreuve renseigne sur la présence d'un infarctus du myocarde.

Lorsqu'un patient souffre de douleurs thoraciques, cette épreuve aide à déterminer si ces dernières sont liées à une réduction du flux sanguin vers les coronaires (artères du myocarde).

■ La *scintigraphie rénale* offre une description détaillée du fonctionnement des reins, allant de l'apport sanguin à la formation et à l'excrétion de l'urine. Elle est très utile pour étudier la fonction rénale chez des patients souffrant d'hypertension, de diabète ou de calculs rénaux.

■ La *scintigraphie thyroïdienne* est fréquemment utilisée pour dépister l'hyperthyroïdie et rechercher d'éventuelles tumeurs malignes chez des patients présentant un goitre nodulaire.

■ La *scintigraphie cérébrale* fournit d'importants renseignements chez les patients atteints d'accidents vasculaires cérébraux, d'épilepsie et de la maladie d'Alzheimer.

Photo : Les techniques d'imagerie nucléaire fournissent des renseignements indispensables pour diagnostiquer un grand nombre de maladies (Crédit : AIEA).

■ La *scintigraphie pulmonaire de perfusion*, associée à la scintigraphie pulmonaire de ventilation, est le moyen le plus efficace d'étudier l'embolie pulmonaire. Il s'agit là d'une pathologie dangereuse causée par des caillots sanguins, qui nécessite un traitement intensif d'urgence.

Les procédures de diagnostic des maladies inflammatoires ou infectieuses jouent un rôle de plus en plus important en médecine nucléaire. Dans la plupart des cas, l'inflammation peut être diagnostiquée par un examen clinique et par des analyses de laboratoire systématiques. Il n'est pas rare, cependant, que les techniques de médecine nucléaire soient requises pour confirmer et évaluer la présence, l'ampleur et la gravité du processus.

Nouvelles orientations. Les techniques nucléaires mises au point en particulier ces dix dernières années recèlent un important potentiel pour ce qui est des applications futures. Il s'agit notamment de l'explosion de l'utilisation de la tomographie à émission de positons (TEP) et de la mise au point de radioligands de récepteurs.

La TEP permet de visualiser l'organe étudié de façon plus précise qu'avec la gamma-caméra habituelle. Elle peut également fournir, s'agissant de certaines fonctions métaboliques, des renseignements impossibles à obtenir avec d'autres techniques. Pour le moment, la PET n'est disponible que dans un nombre limité de pays en développement car cette technique est onéreuse et les radiopharmaceutiques difficiles à produire. On prévoit cependant que vu son succès clinique actuel, cette technique va continuer de se développer, notamment en oncologie, en neurologie et en cardiologie.

Les radioligands de récepteurs s'associent de façon sélective à certaines cellules ou à certains

tissus. Ils présentent la caractéristique unique de permettre la détection *in vivo* de la présence de certains types de tissu dont on soupçonne la présence (tissus infectés, par exemple).

On met également au point une série de nouveaux radiopharmaceutiques détecteurs de tumeurs. Après une simple injection du radiopharmaceutique adéquat, on peut balayer le corps entier à la recherche de cellules cancéreuses. Pour certains types de tumeurs appelées tumeurs neuroendocrines, ces techniques modifient déjà considérablement l'examen diagnostique du patient.

Applications in vitro. Ces applications sont notamment les suivantes :

■ *Radio-immunos dosage (RIA).* Les immunodosages, sous diverses formes, sont de plus en plus largement utilisés tant en médecine nucléaire qu'en pathologie clinique. Quatre qualités principales expliquent leur succès auprès des services de diagnostic : leur sensibilité, leur spécificité, leur précision et leur commodité. Les trois premières sont inhérentes aux propriétés fondamentales des interactions qui se produisent entre les anticorps et leurs ligands, qui forment la base des systèmes d'immunodosage.

L'immunodosage est une technique d'analyse utilisée pour quantifier les biomolécules à des concentrations mesurées en picogrammes/femtogrammes. Il est utilisé pour détecter et quantifier des médicaments, des métabolites intermédiaires, des stéroïdes, des hormones peptidiques, des enzymes, des marqueurs de cancers, des antigènes viraux, des récepteurs cellulaires et des molécules d'acide désoxyribonucléique (ADN) pour le diagnostic clinique rapide en laboratoire de nouvelles maladies ou de récurrences de pathologies anciennes. S'agissant des anticorps monoclonaux, l'immunodosage

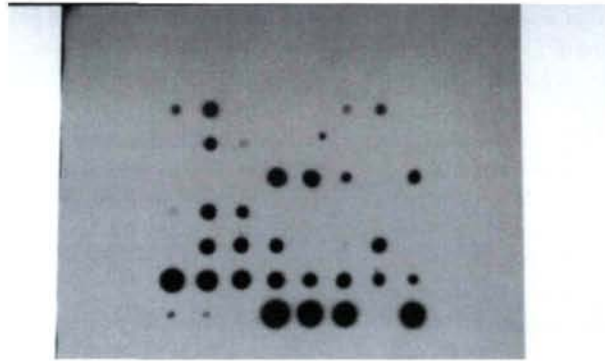
est la méthode la plus sensible et rationnelle pour détecter la ligne d'hybridomes qui produit l'anticorps. Actuellement, c'est l'une des méthodes traditionnelles préférées utilisées en pharmacie pour mettre au point de nouveaux médicaments.

Puisqu'il s'agit d'un dosage isotopique, le signal radioactif émis par la sonde n'est pas soumis aux interférences habituelles (impureté de l'eau, poisons enzymatiques et autres effets secondaires imprévus). La méthode est donc considérée comme la norme étalon par les praticiens de l'immunodosage. Elle peut être automatisée de façon modulaire au moyen d'un échantillonneur robotisé utilisant un minimum de ressources humaines pour le dépistage à grande échelle de maladies curables.

Nouvelles orientations.

L'évolution de la situation en matière de radio-immunodosage se caractérise par une tendance au perfectionnement : optimisation de la sécrétion d'anticorps monoclonaux, nouveaux liens synthétiques, nouvelles techniques d'immobilisation, détection de nouveaux marqueurs de maladies néoplasiques, dégénératives, métaboliques et endocriniennes, techniques de dépistage, validation mondiale et apprentissage cognitif des données cliniques relatives au RIA, et RIA reposant sur des données probantes.

■ **Techniques de biologie moléculaire utilisant des radionucléides.** Ces dernières années, la mise au point et l'introduction de techniques de diagnostic moléculaires ont révolutionné le diagnostic et la surveillance des maladies. L'amplification par réaction en chaîne est l'un des exemples les plus courants d'application des techniques moléculaires à la santé humaine. Cette technique repose sur l'amplification enzymatique



répétée de la séquence visée de fragment d'ADN. Le produit final peut être visualisé par coloration au bromure d'éthidium après séparation par électrophorèse au moyen d'une sonde d'ADN radio-isotopiquement marquée (*voir photo*) ou détecté par analyse directe de séquence. Le phosphore 32 et le soufre 35 sont les radio-isotopes couramment utilisés à cet effet.

L'amplification par réaction en chaîne a trouvé de nombreuses applications tant dans la recherche fondamentale que dans la pratique clinique. Dans le programme de l'Agence, la technique de l'amplification par réaction en chaîne est utilisée pour le diagnostic de maladies infectieuses telles que la maladie de Chagas, la leishmaniose, l'hépatite B et la tuberculose. L'amplification par réaction en chaîne de transcriptase inverse est utilisée pour détecter le virus de l'hépatite C. Elle est aussi utilisée pour détecter les variations de sous-espèces qui peuvent jouer un rôle important dans le pronostic du cancer de l'utérus et des hépatites B et C.

L'efficacité du traitement peut être effectivement contrôlée, pour l'hépatite, par une amplification par réaction en chaîne quantitative. Dans les domaines du paludisme et de la tuberculose, la détection directe de mutations responsables de pharmacorésistances s'effectue en procédant à une amplification par réaction en chaîne spécifique aux mutations, et à une amplification

associée à ce que l'on appelle une hybridation Dot-Blot, respectivement. Le diagnostic de certains troubles génétiques comme la thalassémie et la dystrophie musculaire fait également appel à l'amplification par réaction en chaîne, voire à l'amplification multiplex pour la seconde. Ce diagnostic a permis à certains pays de mettre sur pied des programmes de consultations génétiques.

Outre l'amplification par réaction en chaîne, on peut également citer la technique du polymorphisme de confirmation de brin unique et celle de l'épreuve de troncation de protéines. Ces méthodes sont utilisées pour affiner le diagnostic de la dystrophie musculaire. L'amplification par réaction en chaîne est utilisée pour détecter, chez les patients atteints de leucémie, des cellules malignes qui se caractérisent par des points réguliers de rupture de déplacement. Des apprêts couvrant l'ensemble du point de rupture sont ajoutés à un échantillon de moelle osseuse et soumis à plusieurs cycles d'amplification par réaction en chaîne. Il est ainsi possible de détecter même une cellule sur un million comportant un déplacement.

Photo : Autoradiographie d'échantillons d'hépatite B au phosphore 32 et par hybridation Dot-Blot.

Nouvelles tendances. Dans un proche avenir, plus de cent mille gènes seront caractérisés dans le cadre du projet sur le génome humain. Des génomes de bactéries, de protozoaires, d'helminthes, de virus et de champignons ont déjà été ou seront très bientôt élucidés. L'application la plus importante de ces diverses séquences devrait intéresser les activités de diagnostic.

D'autres applications de plus en plus importantes seront la détection de marqueurs pronostiques du cancer, l'élaboration d'indicateurs de pharmacorésistance, la détection de marqueurs prédictifs de troubles malins et dégénératifs, la modélisation moléculaire aux fins de la mise au point de médicaments, la thérapie génique, la détection de troubles résiduels minimes, l'information sur l'épidémiologie moléculaire ainsi que la prévention et la détection des nouvelles maladies.

Dans le cadre de ces applications, plusieurs techniques devraient être utilisées : amplification par réaction en chaîne quantitative, multiplex et in situ ; séquençage d'ADN multiplex et diagnostic par hybridation aux marqueurs isotopiques stables enrichis et spectrométrie de masse ; sondes à acides nucléiques peptidiques donnant des résultats plus rapides que les sondes ADN traditionnelles ; technique des biopuces d'ADN dans le cadre de laquelle des sondes distinctes peuvent être reliées à un support inerte et hybridées avec l'ADN de contrôle d'échantillons cliniques ; imageurs au phosphore pouvant détecter les rayonnements bêta et gamma plus rapidement ; épreuves de troncation de protéines ; et génomique fonctionnelle.

■ *Mesure des isotopes stables.* La mesure de isotopes stables au moyen de techniques nucléaires et

apparentées est de plus en plus utilisée pour résoudre divers problèmes de santé par l'analyse d'oligo-éléments (*voir encadré, page 37*). Ces techniques sont désormais considérées comme idéales pour mesurer l'absorption et la biodisponibilité de nombreux vitamines et nutriments importants.

Les techniques fréquemment utilisées à ces fins sont notamment l'analyse (radiochimique et instrumentale) par activation de neutrons, la spectrométrie plasma à couplage inductif, l'émission de rayons X induite par particules, l'absorptiométrie de rayons X à double énergie, l'émission de rayons gamma induite par particules, l'analyse par fluorescence des rayons X à dispersion d'énergie, et la fluorescence des rayons X à réflexion totale.

Nouvelles tendances. Les techniques isotopiques, pour nombre d'entre elles, commencent seulement à être appliquées dans les pays en développement. Leur utilisation pourrait profiter à des millions d'individus grâce à l'amélioration de la nutrition et des techniques de surveillance nutritionnelle. Elles peuvent également servir à produire des indicateurs spécifiques de progrès sociaux et économiques plus vastes. Un domaine important qui pourrait faire l'objet d'une surveillance stratégique est notamment celui des soins aux personnes âgées, aux jeunes enfants et aux femmes.

Les soins aux personnes âgées vont devenir un sujet de préoccupation de plus en plus important car vers 2025, le nombre de ces personnes atteindra 1,2 milliard dans le monde (dont 60% dans les pays en développement). Les mesures préventives passant par la nutrition et la surveillance nutritionnelle gagneront donc de l'importance. De même, jusqu'à

300 millions d'adultes risquent, au cours des deux prochaines décennies, d'être atteints de diabète. La prévention et la prise en charge de l'obésité revêtent donc une importance critique.

Chez les femmes et les enfants, l'absence de nutrition adéquate a d'énormes conséquences. Il est clair que les pays en développement comptent davantage de nourrissons ayant un faible poids à la naissance que les pays développés. La prévalence des problèmes de croissance intra-utérine dans la plupart des pays en développement est également considérée comme un problème de santé publique vivement préoccupant.

TRAITEMENT MÉDICAL

Les applications thérapeutiques des techniques nucléaires et radiologiques progressent. Les rayonnements ne se contentent pas de tuer de manière sélective les cellules cancéreuses ; une dose suffisante tue toutes les cellules qui se divisent. Les progrès réalisés en matière d'imagerie au moyen de la tomodesitométrie (TDM) et de l'imagerie par résonance magnétique (IRM) ont permis d'améliorer la définition des marges des cancers. Ces progrès, de leur côté, ont incité à mettre au point des systèmes de planification et des équipements de thérapie capables de traiter la tumeur à des doses plus élevées sans augmenter la dose reçue par les organes sains avoisinants.

Les techniques les plus courantes consistent à émettre des rayonnements à distance – c'est ce qu'on appelle la téléthérapie – et à introduire des sources radioactives dans des cavités proches des tumeurs voire, de façon évasive, directement dans les tumeurs – c'est ce qu'on appelle la curiethérapie. D'autres

APPLICATIONS SANITAIRES STRATÉGIQUES DES ISOTOPES STABLES

■ **Lutte contre la malnutrition** : près de 200 millions d'enfants (plus de 150 millions en Asie et environ 27 millions en Afrique) âgés de moins de 5 ans sont touchés. Il importe, dans ce contexte, de mesurer la vitamine A. Environ 90% de la vitamine A du corps est stockée dans le foie, et pour mesurer directement la vitamine A présente dans le foie, il faudrait recourir à des actes effractifs (à une biopsie du foie, par exemple). L'AIEA a mis au point des méthodes bien moins effractives, à base de traceurs isotopiques, qui permettent de mesurer la vitamine A du corps entier en cas d'administration de suppléments (Ghana, Pérou), d'enrichissement des aliments (Pérou, Israël) ou d'amélioration des habitudes alimentaires (Chine, Thaïlande, Philippines et Inde) visant à résoudre les problèmes d'apport en vitamine A des enfants et des femmes enceintes ou allaitantes. De même, il est important, sur le plan nutritionnel, de mesurer l'absorption de fer provenant de l'alimentation pour évaluer sa biodisponibilité. Les isotopes stables, qui sont le seul moyen direct de mesurer l'apport en fer et sa biodisponibilité, sont considérés comme une sorte d'étalon pour l'étude du fer chez les humains. Les méthodes isotopiques sont très utiles pour mesurer l'absorption du zinc provenant des aliments et l'absorption du lait maternel par les nourrissons.

■ **Ostéoporose** : ce problème touche les personnes âgées (en particuliers les femmes ménopausées). L'AIEA a aidé plusieurs pays en développement à appliquer l'absorptiométrie des rayons X à double énergie (DEXA) à la mesure de la densité osseuse pour étudier la façon dont la densité minérale des os varie avec l'âge, le sexe, et l'origine ethnique et géographique des sujets.

■ **Obésité** : ce problème est notamment lié aux maladies cardiovasculaires, à l'hypertension et au diabète sucré de la maturité. Or, les techniques à base d'isotopes stables commencent à permettre de le



mesurer. Il n'existe pas d'autre solution que les méthodes isotopiques pour mesurer la dépense d'énergie dans la vie quotidienne. La méthode à eau doublement marquée ($^2\text{H}_2^{18}\text{O}$) est la seule qui puisse déterminer avec précision les besoins en énergie des individus dans leur propre environnement et est l'une des plus fiables qui existent pour déterminer l'apport calorifique. Cette méthode est de mieux en mieux acceptée car elle est économique, précise et peut être appliquée dans le cadre de la vie quotidienne.

■ **Helicobacter pylori (Hp)** : les jeunes enfants des pays en développement souffrent d'une prévalence élevée de cette infection, qui les rend vulnérables aux maladies diarrhéiques. D'après les statistiques de 1993, les diarrhées persistantes sont à l'origine de plus de 60% des décès infantiles d'origine diarrhéique au Brésil, 47% en Inde, 36% au Sénégal et 26% au Bangladesh. Il est admis que les méthodes à base d'isotopes stables sont le moyen le plus efficace et le plus rationnel de diagnostic de cette infection. Ce dernier s'obtient par simple analyse d'haleine au moyen de substrats enrichis au carbone 13 et par la mesure de dioxyde de carbone marqué.

Photo : Des agents de santé de nombreux pays sont formés à l'utilisation efficace des techniques isotopiques.

applications font appel à des sources radioactives ouvertes utilisées pour la radiothérapie du cancer et pour le traitement de certaines maladies thyroïdiennes (voir tableau, page 40).

■ **Téléthérapie**. La téléthérapie faisait initialement appel à des tubes qui émettaient des rayons X, puis est passée à des traitements utilisant des machines au cobalt, où les rayonnements étaient produits par des sources de cobalt radioactives (rayons gamma), avant

de revenir aux rayons X qui sont maintenant produits par des accélérateurs linéaires. Ces machines émettent des faisceaux plus pénétrants et très aigus capables d'atteindre avec davantage de précision des tumeurs plus profondément implantées.

Les premiers moyens de traitement étaient très efficaces contre les petites tumeurs superficielles ; ils étaient tellement efficaces que les tumeurs de la peau traitées par radiothérapie ou

chirurgie étaient considérées comme guéries et que seuls les mélanomes étaient inscrits sur les registres des cancers. On place maintenant de plus en plus l'accent sur les résultats cosmétiques et sur la rétention des fonctions. Les cancers précoces du larynx sont traités par radiothérapie pour préserver la voix, et les cancers précoces du sein sont traités par ablation de la grosseur et par des rayonnements plutôt que par mastectomie.

APPLICATIONS NUCLÉAIRES ET SOINS DE SANTÉ

■ Imagerie statique par gamma-caméra

Principe : une gamma-caméra convertit des photons émis par un radiopharmaceutique administré à un patient, présentant une image de la répartition de l'élément. *Application* : imagerie statique et dynamique des fonctions de l'organe. *Avantage comparatif* : image de haute qualité.

■ Tomographie d'émission monophotonique (TEMP)

Principe : la répartition d'un radiopharmaceutique administré à un patient est mesurée sous différents angles par une gamma-caméra rotative. *Principale application* : imagerie de perfusion cardiaque et imagerie cérébrale. L'examen du foie et de la moelle épinière est une autre application clinique fréquente. *Avantage comparatif* : imagerie par gamma-caméra améliorée. Permet une localisation tridimensionnelle absolue de la répartition du radiopharmaceutique avec représentation 3D de l'organe visualisé.

■ Tomographie à émission de positons (TEP)

Principe : lorsqu'un positon s'associe à un électron, l'action produit deux photons d'annihilation de 511-keV se déplaçant en direction opposée. En enregistrant leur arrivée simultanée dans un système de détection entourant le patient, on peut localiser l'origine de l'émission en trois dimensions et obtenir des images d'extrêmement bonne qualité. Des éléments organiques de base tels que le carbone 11, l'azote 13, l'oxygène 15 et le fluor 18 sont des émetteurs de positons. Ces éléments sont marqués pour certaines molécules fréquemment présentes dans l'organisme et peuvent donc être spécifiés pour examiner un organe donné. *Application* : en associant un isotope émetteur de positons à un marqueur

spécifique d'une voie d'acheminement biochimique, on peut estimer des taux absolus de processus biologiques tels que l'utilisation du glucose, la synthèse des protéines, la consommation d'oxygène et le débit sanguin. *Avantage comparatif* : la TEP est idéale pour créer des images "fonctionnelles" du débit sanguin ou de processus métaboliques. Ces dernières surpassent les images structurelles ou anatomiques traditionnelles produites par l'examen radiographique, l'imagerie par résonance magnétique, voire par la TEMP.

■ Scintigraphie rectiligne

Principe : déplacement de détecteurs qui cartographient l'emplacement de radiopharmaceutiques dans le corps d'un patient. Le scanneur se déplace sur l'organe suivant un ou plusieurs plans jusqu'à ce que l'organe ou la région examinée ait été entièrement balayé(e) par le compteur à scintillation. *Application* : imagerie thyroïdienne. *Avantage comparatif* : d'épais cristaux et une collimation à haute énergie permettent d'obtenir un rendement et une résolution élevés, en particulier avec des radiopharmaceutiques tels que l'iode 131.

■ Sondes gamma générales

Principe : l'activité d'un radiopharmaceutique est détectée par un détecteur à scintillation aligné sur l'organe examiné. *Application* : absorption d'iode par la thyroïde. Les compteurs uniques n'utilisant qu'un détecteur cristallin sont utiles. *Avantage comparatif* : l'absorption d'iode – indice de la fonction thyroïdienne – demeure, même si l'on dispose de procédures plus perfectionnées, un outil de diagnostic systématique.

À mesure que les techniques d'imagerie et de traitement s'amélioraient, cette évolution vers une chirurgie minimale augmentée d'une radiothérapie s'est accentuée pour les tumeurs plus profondes. Des localisations allant de la prostate à la tête et au cou sont traitées par une chirurgie moins importante associée à une radiothérapie. Des organes fragiles tels que les yeux, le cerveau ou la moelle épinière peuvent être distingués avec netteté de la tumeur.

Nouvelles orientations. Des systèmes de planification perfectionnés conçoivent maintenant chaque faisceau de

traitement pour minimiser la dose reçue par ces structures tout en augmentant la dose reçue par la tumeur. Ces systèmes de planification contrôlent la puissance de dose (intensité) et les ouvertures de traitement pour dispenser ce qu'on appelle une "thérapie conformelle". La radiochirurgie stéréotactique (fraction unique) et la radiothérapie stéréotactique (fractions multiples) sont des évolutions de cette thérapie conformelle. Elles placent cependant l'accent sur le positionnement de la tumeur.

Alors que ces techniques étaient initialement conçues pour des

faisceaux d'accélérateurs de protons ou pour un couteau gamma (appareil de téléthérapie très élaborée comprenant plus de 200 sources de cobalt), elles se sont maintenant généralisées avec l'adjonction d'options à un accélérateur linéaire traditionnel. Leur utilisation s'est rapidement étendue à des lésions plus petites, souvent bénignes du cerveau, où il est dangereux d'opérer. Cette technique permet généralement de bien traiter les malformations artério-veineuses, les schwannomes acoustiques et les méningiomes cérébraux, avec des taux de guérison dépassant 80%.

■ Sondes gamma chirurgicales

Principe : un détecteur manuel est utilisé pour détecter et mesurer l'accumulation positive d'un radiopharmaceutique administré avant un acte chirurgical. *Application* : cette technique permet au chirurgien d'identifier le premier ganglion en aval d'une tumeur, généralement un mélanome ou une tumeur du sein. *Avantage comparatif* : améliore l'efficacité du traitement chirurgical, qui dépend systématiquement de l'ablation complète de tous les tissus cancéreux. La métastase du mélanome ou du cancer du sein se propage par le système lymphatique et dépose quelques cellules dans le premier ganglion dit "sentinelle". En localisant ce ganglion, on peut détecter la propagation ou l'absence de cellules cancéreuses et administrer un traitement approprié au patient.

■ Étude du coefficient d'évacuation de radionucléides

Principe : globalement, on peut déterminer la vitesse à laquelle une substance radioactive particulière, généralement administrée à des patients par voie intraveineuse, s'évacue du plasma en calculant la concentration de cette substance dans le plasma et/ou dans l'urine. *Application* : l'étude permet d'examiner de façon combinée le fonctionnement et l'anatomie des reins. *Avantage comparatif* : elle reflète de façon bien plus précise l'état fonctionnel des reins. L'analyse chimique traditionnelle est souvent utile pour diagnostiquer des insuffisances rénales graves, mais convient moins pour les patients atteints d'une perte modérée de fonction rénale.

■ Techniques de dilution de radionucléides

Principe : ces techniques consistent à administrer au patient un radionucléide qui se diffuse dans la région

étudiée, et dont la répartition peut être suivie. *Application* : mesure avec une grande précision l'eau corporelle totale ; la masse, la longévité et la séquestration des hématies, le potassium échangeable total. Pour mesurer l'eau corporelle, on préfère généralement de l'eau tritiée. Les hématies sont marquées au chromate de sodium ^{51}Cr . *Avantage comparatif* : la mesure est simple et exacte. Les radionucléides utilisés ne sont pas toxiques.

■ Applications thérapeutiques

Principe : la radiothérapie du cancer consiste à diriger la radioactivité vers les cellules cancéreuses plutôt que vers les cellules de tissus sains. Des radionucléides émettant des rayonnements bêta ou alpha peuvent être marqués au moyen d'éléments qui émettent des rayonnements néfastes pour les cellules du tissu local où ils s'accumulent. Une absorption sélective par certaines tumeurs ou certains organes se produit avec ces radionucléides ou éléments marqués. *Application* : de nombreux radiopharmaceutiques différents visant des tumeurs sont utilisés à des fins thérapeutiques par différentes voies d'acheminement et en recourant à divers mécanismes de ciblage. Le traitement du cancer de la thyroïde ou hyperthyroïdie à l'iode 131 est pratiqué depuis plus de 50 ans. Certains radiopharmaceutiques s'accumulent de façon sélective dans les métastases osseuses, ce qui permet de lutter contre la douleur. *Avantage comparatif* : ce traitement vise spécifiquement certains tissus, est non effractif, et produit relativement peu d'effets secondaires précoces et tardifs. Le suivi de marqueurs permet en outre d'évaluer l'absorption et la rétention des rayonnements dans la tumeur avant d'entreprendre le traitement.

■ *Services de radiothérapie*. Les services de radiothérapie ont connu un développement rapide au cours de la décennie écoulée. Les pays les plus développés n'hésitent pas à proposer des services élémentaires de radio-oncologie. Ils disposent de centres utilisant, au besoin, des équipements de pointe. Bien que ces techniques de pointe ne soient nécessaires que pour une minorité de patients, leur utilisation peut permettre de réduire considérablement la morbidité et la mortalité chez des patients sélectionnés de façon appropriée.

Au cours de la décennie écoulée, le nombre d'équipements

disponibles a triplé dans les pays en développement. Sur les 130 États membres de l'AIEA, seuls 10 parmi les pays les moins avancés continuent d'être dépourvus d'équipements de radiothérapie de base. Au cours des cinq dernières années, l'AIEA a lancé des programmes de radiothérapie dans cinq de ces États. Le sixième est en cours de lancement. Le défi, pendant la prochaine décennie, consistera à améliorer les systèmes de santé de façon à pouvoir incorporer en toute sûreté les meilleures techniques modernes à la pratique thérapeutique.

Nouvelles orientations. Un nouveau problème auquel sont

confrontés les spécialistes de radio-oncologie est le nombre croissant de cancers liés au sida observés dans les services cliniques. Face à ces cancers, le rôle de la radiothérapie reste le même, mais les objectifs du traitement ont radicalement changé. Le principal objectif n'est plus la guérison des cancers, que l'on peut obtenir chez environ 45% des patients des pays développés. La qualité de vie, qui revêt toujours une grande importance pour le patient et pour le cancérologue, a pris une nouvelle signification face à l'espérance de vie limitée que confère une maladie plus fatale encore.

CENTRES ET ÉQUIPEMENTS DE RADIOTHÉRAPIE DANS LE MONDE

RÉGION	POPULATION (MILLIONS)	CENTRES DE RADIOTHÉRAPIE	APPAREILS COBALT-60	ACCÉLÉRATEURS CLINIQUES	APPAREILS TÉLÉ (TOTAL)	APPAREILS TÉLÉ (RATIO*)
Amérique du Nord	300,9	1903	207	2251	2458	8,2
Amérique centrale	134,1	139	115	30	145	1,1
Amérique latine tropicale	276,2	266	219	122	341	1,2
Amérique latine tempérée	54,3	139	128	46	174	3,2
Caraïbes	29,4	18	23	1	24	0,8
Europe occidentale	387	1027	410	1109	1519	3,9
Europe orientale	390,6	334	508	182	690	1,8
Afrique du Nord	138,2	59	54	41	95	0,7
Afrique centrale	358,6	22	25	2	27	0,1
Afrique australe	56,5	21	19	27	46	0,8
Moyen-Orient	221,3	91	64	56	120	0,5
Sous-continent indien	1245,1	221	286	46	332	0,3
Asie du Sud-Est	477,2	81	71	59	130	0,3
Asie orientale	1430,9	1107	606	948	1554	1,1
Australie & îles du Pacifique	22,6	49	5	113	118	5,2

* Nombre moyen d'appareils de téléthérapie par million d'habitants de la région. Source : Répertoire des centres de radiothérapie, novembre 1999.

■ **Curiothérapie.** Ce domaine connaît des progrès rapides. Les sources de radium initiales de Marie Curie ont, pour la plupart, été remplacées par des sources de césium, qui sont plus sûres à manipuler et plus faciles à évacuer. Quelques millimètres peuvent, de prime abord, paraître peu, mais il est difficile d'introduire ces sources dans des cavités et des tissus. De nouvelles micro-sources à forte dose mesurant moins d'un millimètre de diamètre et ayant une activité de l'ordre de 10 Curies ont donné des résultats prometteurs. Elles ont facilité les procédures d'insertion, ramené les temps de traitement de 2-5 jours à 10-20 minutes, et ouvert de nouvelles perspectives. Ces sources peuvent être introduites dans les bronchioles pulmonaires, les vésicules biliaires, voire les petits vaisseaux du cœur (artères coronaires). Les premiers services de curiothérapie, en revanche, se limitaient presque exclusivement au traitement du col de l'utérus.

Le cancer du col demeure le cancer le plus fréquent dans de nombreux pays en développement. Environ 80% des patientes sont soumises, dans le cadre de leur traitement, à un curiothérapie. Les taux de guérisons vont de 80% pour les tumeurs confinés au col à 35% pour les tumeurs de phase III.

Celles-ci peuvent mesurer plus de 10 centimètres et être néanmoins tout à fait guérissables en combinant téléthérapie et curiothérapie, avec cette dernière comme élément principal.

Comme la téléthérapie est généralement administrée quotidiennement en ambulatoire, l'apparition de la microthérapie à forte dose a supprimé tout besoin d'hospitalisation.

Nouvelles orientations. La curiothérapie est maintenant utilisée, dans le cadre du traitement endovasculaire de prévention de la resténose des artères coronaires après pontage ou angioplastie, pour traiter par rayonnements des maladies "bénignes". Il semblerait, d'après les résultats obtenus, que le taux de resténose soit de quatre fois inférieur à ce qu'il était pour différentes interventions chirurgicales.

UN POTENTIEL À EXPLOITER

Les progrès réalisés dans l'application des techniques nucléaires au domaine médical devraient permettre d'améliorer la santé dans de nombreux pays. La technique de diagnostic in vivo la plus répandue dans le monde reste l'examen par

gamma-caméra des fonctions organiques.

Des applications prometteuses font néanmoins leur apparition dans ce domaine, y compris la TEP et de nouveaux types de radiopharmaceutiques. Les applications *in vitro* du radio-immunosorbonne, de la biologie moléculaire, et de la mesure des isotopes stables par les techniques nucléaires et apparentées sont des exemples de techniques très efficaces qui sont loin d'être complètement maîtrisées, et qui recèlent d'importantes possibilités de développement.

Dans le domaine thérapeutique, les traitements par téléthérapie et curiothérapie restent les traitements de choix offerts à la plupart des patients cancéreux. De nouvelles évolutions, cependant, semblent prometteuses : thérapie conformelle et radiopharmaceutiques – étonnamment efficaces – de détection de cancers pour le traitement de ces derniers au moyen de sources radioactives ouvertes. Une autre évolution intéressante – le traitement intravasculaire de l'athérosclérose par les rayonnements – pourrait conférer une nouvelle dimension au traitement de ce qui est la maladie la plus mortelle du monde industrialisé. □

PLASMAS & ACCÉLÉRATEURS AU SERVICE DU DÉVELOPPEMENT DES POSSIBILITÉS DE PLUS EN PLUS VASTES

THOMAS DOLAN, STJEPKO FAZINIC, C.U. ROSENGARD & URSULA SCHNEIDER

La recherche fondamentale et appliquée menée dans certains domaines avancés des sciences et techniques nucléaires a permis à de nombreux pays de réaliser des progrès sociaux, économiques et écologiques dans les secteurs de l'industrie, de la médecine et de l'énergie. La recherche scientifique a permis, par exemple, d'améliorer les procédés industriels d'évacuation des déchets et de production de céramiques, de métaux et de revêtements de haute qualité, et d'améliorer les soins et les traitements médicaux.

Par diverses activités, l'AIEA soutient et coordonne des recherches scientifiques et techniques qui aident à satisfaire les besoins de ses États membres en matière de développement durable. Les programmes de l'Agence englobent des applications ayant trait à l'instrumentation nucléaire, à la physique des plasmas, à la recherche sur la fusion nucléaire et à l'utilisation de réacteurs de recherche et d'accélérateurs. Le présent article porte plus spécialement sur les applications des plasmas et des faisceaux d'accélérateurs, en plaçant l'accent sur les activités qui visent à promouvoir le transfert de technologie et de compétences.

TECHNOLOGIES DU PLASMA

La plupart des gens pensent que les états fondamentaux de la matière sont les états solide, liquide ou gazeux. Or, les physiciens travaillent fréquemment avec un autre état

de la matière, connu sous le nom de plasma, qui est un gaz ionisé. Les processus plasmatiques – la luminescence d'un tube néon ou, à une plus grande échelle, l'énergie du soleil – font partie de la vie quotidienne.

Aujourd'hui, les applications pratiques et bénéfiques des technologies du plasma dans la médecine et dans l'industrie sont multiples :

- nettoyage de surfaces ; revêtements de surfaces ; et essais de matériaux ;
- fabrication de fenêtres en diamant et saphir par synthèse plasma-chimique ;
- usinage et modification de puces électroniques à l'échelle atomique ;
- sources de rayonnements lumineux à haut rendement énergétique ;
- conservation des aliments (barrières anti-diffusion sur les emballages plastiques pour retarder l'oxydation) ;
- matériaux et implants biocompatibles ;
- applications médicales (instruments chirurgicaux et dentaires, implants, valves cardiaques) ;
- destruction de déchets dangereux.

Ces applications industrielles, parmi d'autres, ont un potentiel commercial de dizaines de milliards de dollars. Plusieurs technologies du plasma utilisées pour la recherche sur la fusion trouvent également une utilisation dans d'autres domaines. Le chauffage du plasma par micro-ondes à haute puissance, par exemple, est aujourd'hui largement utilisé dans l'industrie.

Des techniques de diagnostic plasmatiques sont utilisées à des fins industrielles, et de petites machines à plasma sont utilisées comme sources de neutrons et de rayons X.

Projets de coopération technique. En Chine, l'AIEA a soutenu un projet de coopération technique qui aide ce pays à mettre au point un réacteur à plasma devant traiter des déchets liquides toxiques provenant d'une usine de pâte à papier. Actuellement, une usine pilote est en cours de construction pour tester ce concept sur une plus grande échelle. Cette technologie, si elle se révèle efficace, pourrait être transmise à des milliers d'usines de pâte à papier en Chine et ailleurs.

Un autre projet, mis en œuvre en Argentine, met au point une source intense de neutrons pulsés, qui pourrait être utilisée dans diverses applications concrètes telles que la prospection de minéraux et la détection d'explosifs.

Projets de recherche coordonnée. L'AIEA a également mis en œuvre un projet de recherche coordonnée sur les applications techniques, industrielles et environnementales de la physique des plasmas et des techniques de fusion. Des résultats notables ont été enregistrés dans nombre des pays participants :

M. Dolan est chef de la Section de physique à la Division des sciences physiques et chimiques du Département des sciences et des applications nucléaires, et M. Fazinic, M. Rosengard et Mme Schneider sont fonctionnaires de cette section.



■ **Argentine.** On a étudié la modification de surface d'aciers, de titanes et d'autres alliages. D'autres études faisant appel à la diffraction de rayons X émis par des synchrotrons ont été consacrées à l'amélioration de la dureté superficielle de l'acier.

■ **Brésil.** On a étudié la microstructure de revêtements durs à base de carbone tels que du carbure de bore afin d'améliorer leurs propriétés mécaniques, y compris leur résistance à l'usure.

■ **Chine.** Une étude de plasmas contaminés par de la poussière aidera à contrôler la qualité dans le traitement des matériaux. En outre, on tente de mettre au point un appareil à plasma pouvant servir de source de rayons X et de faisceaux d'ions.

■ **Égypte.** Un appareil (connu sous le nom d'appareil de décharge à barrière diélectrique silencieuse) a été testé comme générateur d'ozone gazeux pour traiter les eaux usées, désulfurer le charbon, et extraire la vapeur d'eau du gaz naturel présent dans le pétrole brut.

■ **Allemagne.** Des films de carbone hydrogénés amorphes déposés sur des polymères ont

réduit la perméabilité de 80% à 95%. Ce résultat est comparable aux réductions obtenues à l'aide d'autres revêtements imperméabilisants tels que l'alumine et le silicone.

■ **Grèce.** Une source luminescente de faisceaux d'atomes métalliques a été mise au point pour la construction d'équipements nano-structurés tels que des détecteurs de gaz semi-conducteurs.

■ **Inde.** Un prototype de système de torche à plasma pour la pyrolyse au plasma de déchets médicaux est en cours d'essais sur le terrain. Les gaz produits ont été mesurés et des méthodes mises au point pour empêcher toute pollution de l'environnement.

■ **Japon.** Des instruments spéciaux ont été conçus pour mesurer les fonctions de distribution d'énergie de plasmas d'ondes de surface et de plasmas induits par hautes fréquences. Les concentrations résultantes de molécules d'hydrocarbures et de molécules fluorées ont été étudiées pour apprendre à optimiser les paramètres de traitement des semi-conducteurs.

■ **Roumanie.** Il a été conçu un réacteur à plasma destiné au traitement des matériaux.

■ **Fédération de Russie.** On a démontré qu'il était possible d'injecter des pastilles dans des plasmas en fusion pour mesurer les paramètres de ce dernier.

Ces applications de la physique des plasmas offrent d'importantes possibilités pour ce qui est de la protection des matériaux grâce à l'étude des surfaces ; de la mise au point de techniques de fabrication propres ; de la production de nouveaux matériaux aux fins des futures technologies ; et de la remise en état de l'environnement.

APPLICATIONS DES ACCÉLÉRATEURS

Des milliers d'accélérateurs sont utilisés dans le monde dans le cadre de diverses applications (voir encadré, page 44).

L'Agence élabore actuellement une base de données sur les accélérateurs à faible énergie et leurs applications. Ces applications sont notamment les suivantes :

Générateurs de neutrons. Des faisceaux de deutérons de haute intensité ayant une énergie de 0,1 à 3 MeV sont injectés dans des cibles de titane tritié, où des réactions de fusion nucléaire produisent des neutrons. Ces

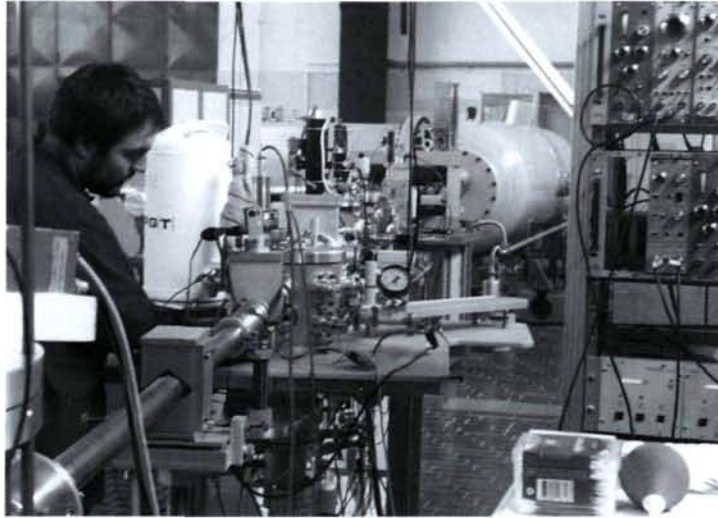
Photos : À gauche, réacteur à plasma pour l'évacuation et le recyclage de déchets de pâte à papier à Chengdu (Chine). À droite, système conçu par la Western Kentucky University (États-Unis) pour identifier des objets enfouis. Ce système est en cours d'essais pour la détection des mines enfouies.

“générateurs de neutrons” sont utilisés pour analyser des matériaux par absorption et dispersion de neutrons. Ils sont notamment utilisés dans le cadre des activités suivantes : expériences de physique ; détection d’explosifs et de drogues ; déminage humanitaire ; analyse globale de charbon, de ciment, de verre, de métaux et de produits agricoles ; diagraphe de puits de pétrole ; prospection minière ; examens non destructifs par neutronographie ; et soins médicaux.

Les activités de l’Agence comprennent un projet de recherche coordonnée sur l’analyse globale de l’hydrogène au moyen de neutrons. Il a également été publié un document technique consacré au fonctionnement et à l’entretien des générateurs de neutrons. Dans le cadre d’un autre projet de recherche coordonnée portant sur l’application des techniques nucléaires à l’identification des mines antipersonnel, on met au point des instruments nucléaires servant à localiser et à identifier les objets enfouis. Un système de détection des mines sera testé sur le terrain.

Implantation d’ions. Un traitement par faisceaux d’ions peut être utilisé à la fois pour synthétiser et pour modifier des matériaux, y compris des métaux, des semi-conducteurs, des céramiques et des isolants, et ce avec un haut degré de précision. Des implantateurs d’ions sont utilisés pour fabriquer des puces électroniques avancées équipant des ordinateurs et des systèmes de communication.

Environ 7000 accélérateurs d’implantation sont en service dans l’industrie des semi-conducteurs. L’implantation d’ions nécessite des accélérateurs spéciaux capables d’implanter des ions de la plupart des éléments du tableau de classification périodique, et de balayer le



faisceau uniformément sur un échantillon.

Cette technique est également utilisée pour déposer de fines pellicules de revêtement destinées à améliorer la résistance à l’usure, au frottement et à la corrosion d’outils spécialisés utilisés dans l’industrie et en médecine. Par exemple, les alliages de titane, d’aluminium et de vanadium ont une excellente biocompatibilité, une haute résistance et une bonne résistance à la corrosion, mais manquent de dureté et de résistance à l’usure. Une implantation d’azote améliore de 1000 fois la résistance à l’usure de ces alliages, ce qui permet de les utiliser bien plus longtemps dans des prothèses de hanche.

Analyse par faisceaux d’ions. Les méthodes les plus courantes d’analyse par faisceaux d’ions sont les méthodes PIXE (émission de rayons X induite par particules), RBS (spectrométrie à rétrodiffusion de Rutherford), ERDA (analyse par détection de recul élastique) et NRA (analyse par réaction nucléaire). L’analyse par faisceaux d’ions permet de détecter tous les éléments. Les méthodes NRA et ERDA conviennent mieux aux éléments légers, en particulier à l’hydrogène ; les méthodes RBS et PIXE peuvent détecter des éléments plus lourds.

Généralement, on utilise de petits accélérateurs électrostatiques de 2 à 3 MV de tension. On recense environ deux cents installations dans le monde, y compris celles utilisées dans une vingtaine de pays en développement. La plupart des méthodes d’analyse par faisceaux d’ions peuvent, au moyen d’un faisceau d’ions finement focalisé, produire des images de concentrations élémentaires. Des moyens de faible intensité peuvent être utilisés comme détecteurs contrôlables de sources de rayonnements pour représenter la morphologie, la structure cristalline et la densité de matériaux, ou pour étudier les propriétés d’appareils électroniques.

Les applications les plus répandues ont trait à l’étude de matériaux, à l’étude de la pollution de l’environnement, à la recherche biomédicale, à la géologie et à l’archéométrie. En raison des renseignements qu’elles fournissent, les méthodes RBS, ERDA et NRA sont un complément précieux aux techniques plus traditionnelles d’analyse de surfaces, et possèdent des caractéristiques uniques qui les rendent indispensables pour

Photo : L’accélérateur d’analyse par faisceaux d’ions de l’Institut Josef Stefan (Slovénie).

APPLICATIONS DES ACCÉLÉRATEURS

ACCÉLÉRATEURS D'ÉLECTRONS

■ **Accélérateurs d'électrons de faible à moyenne énergie.** *Application* : hôpitaux, radiotraitement, radiothérapie. Utilisés pour la cancérothérapie, le renforcement des matériaux, la stérilisation d'équipements médicaux, la conservation des aliments, la réduction de la pollution. 7000 appareils disponibles dans le monde (6000 hôpitaux, 1000 pour le renforcement des matériaux, la stérilisation et la prévention de la pollution).

■ **Sources de rayonnements à synchrotron.** *Application* : Recherche. Utilisées pour l'étude des matériaux et les sciences de la vie. Moins de 50 appareils disponibles dans le monde.

ACCÉLÉRATEURS D'IONS

■ **Générateurs de neutrons.** *Application* : analyse par activation de neutrons. Utilisés pour la diaggraphie des puits de pétrole, le contrôle et l'analyse de procédés industriels, et la détection d'explosifs et de drogues.

■ **Implanteurs d'ions.** *Application* : traitement des matériaux par faisceaux d'ions. Utilisés pour la production de puces électroniques, l'amélioration de la résistance à l'usure et à la corrosion, et l'implantation de prothèses humaines. Environ 7000 appareils de ce type dans le monde.

■ **Accélérateurs d'ions de faible à moyenne énergie.** *Application* : analyse par faisceaux d'ions & spectrométrie de masse par accélérateur. Utilisés pour la détection d'éléments traces, la production de radio-isotopes à des fins diagnostiques et thérapeutiques, la cancérothérapie par faisceaux d'ions. Plusieurs centaines de ces appareils disponibles dans le monde.

■ **Sources de neutrons de spallation.** *Application* : Recherche. Utilisées pour l'étude de matériaux avancés et la transmutation de déchets nucléaires. Environ dix appareils de ce type dans le monde.

résoudre certains problèmes. Elles permettent d'analyser une grande variété d'échantillons dans des domaines tels que l'étude des matériaux, l'art, l'archéologie et la biologie.

L'AIEA appuie plusieurs projets dans les États membres.

■ **Slovénie.** Dans le cadre d'un projet de coopération technique mis en œuvre avec l'Institut Josef Stefan de Ljubljana, il a été créé un centre moderne de recherche et de formation à l'analyse par faisceaux d'ions. L'Institut prévoit d'équiper l'accélérateur de cinq lignes de faisceaux pour appliquer les techniques d'analyse, mettre en œuvre un programme d'assurance de la qualité intéressant ces techniques, puis proposer des services d'analyse aux établissements de recherche et aux industriels.

Deux lignes de faisceaux sont en service, et une ligne de microsondes nucléaires est en construction pour faciliter l'analyse de divers échantillons à l'aide de faisceaux de protons de diamètre inférieur ou égal à un micromètre. Ces systèmes faciliteront la mesure de la distribution spatiale d'éléments traces, par exemple sur des

matériaux électroniques et des appareils micro-électroniques. Une autre ligne est en cours de préparation afin de réaliser des mesures RBS et ERDA qui permettront d'étudier de fines couches de revêtements, des revêtements durs et d'autres matériaux.

■ **Israël.** L'Agence a aidé Israël à améliorer ses accélérateurs existants aux fins de diverses applications. Les capacités de l'accélérateur 3 MeV Van de Graaff du Weizmann Institute ont été augmentées en affectant deux de ses trois lignes de faisceaux à l'analyse par faisceaux d'ions aux fins d'applications liées au contrôle de l'air, de l'eau et des matières dangereuses. La troisième ligne est réservée aux applications PIXE, PIGE (émission de rayons X induite par particules) et RBS.

■ **Iran.** L'Agence a aidé l'Iran à améliorer les capacités d'analyse du Laboratoire Van de Graaff du Centre de recherches nucléaires de l'Organisation de l'énergie atomique de Téhéran. Les capacités ont été améliorées par l'introduction d'une microsonde nucléaire.

L'Agence a également appuyé des projets de coopération

technique liés à l'utilisation de l'analyse par faisceaux d'ions dans de nombreux autres pays : Brésil, Croatie, Chili, Grèce, Liban, Mexique, Portugal, Roumanie et Thaïlande.

Les laboratoires de l'AIEA à Seibersdorf (Autriche) utilisent, à l'accélérateur Van de Graaff de l'Institut Rudjer Boskovic de Zagreb (Croatie), une ligne de faisceaux réservée pour l'analyse d'échantillons environnementaux ; un projet a d'ailleurs aidé à y mettre au point une ligne de microsondes. En outre, l'AIEA soutient un projet de recherche coordonnée portant sur l'analyse par faisceaux d'ions de matériaux semi-conducteurs, et elle publie actuellement un document technique consacré aux méthodes PIXE et RBS.

Spectrométrie de masse par accélérateur. Il s'agit là de la technique d'analyse des éléments traces la plus sensible, avec des sensibilités pouvant atteindre, dans certains cas, quelques particules par billion. Les accélérateurs requis pour appliquer cette technique sont comparables à ceux utilisés pour l'analyse par faisceaux d'ions, mais des améliorations sont nécessaires au

niveau de la source d'ions et du jet de haute énergie.

On recense dans le monde environ 50 laboratoires disposant de leur propre système de spectrométrie de masse par accélérateur. Cette technique présente deux caractéristiques intéressantes : elle permet d'analyser de très faibles volumes d'échantillons, et d'utiliser des nucléides stables au lieu de nucléides radioactifs.

La spectrométrie de masse par accélérateur est l'une des méthodes les plus rapides de dosage du carbone (30 minutes contre plusieurs semaines pour les méthodes de datation traditionnelles) et seuls des échantillons de l'ordre d'un milligramme sont requis (contre plusieurs grammes avec les méthodes traditionnelles). Cette technique utilise également les nucléides cosmogéniques que sont le béryllium 10, l'aluminium 26 et l'iode 129, et elle sera de plus en plus utilisée en océanographie, en paléoclimatologie et en géohydrologie (ressources en eaux souterraines).

Le carbone 14 peut, dans un système biologique, être utilisé comme traceur avec une sensibilité un million de fois supérieure à celle des méthodes traditionnelles de comptage à scintillation. Les impuretés de fer à raison de quelques particules par milliard peuvent poser des problèmes dans la fabrication des puces électroniques ; on utilise donc la spectrométrie de masse par accélérateur pour diagnostiquer la teneur en impuretés.

■ **Israël.** L'AIEA a aidé le Racah Institute of Physics de l'Université hébraïque de Jérusalem à mettre au point des procédures d'analyse par spectrométrie de masse du strontium 90 présent dans des échantillons de l'environnement en utilisant l'accélérateur du Weizmann Institute of Science. L'Agence a offert, pour améliorer

les installations existantes, des services d'experts, une formation et certains équipements.

Une étude de faisabilité a montré que la spectrométrie de masse par accélérateur améliorerait de deux fois le seuil de détection du strontium 90 par rapport au comptage bêta. Une procédure améliorée de préparation des échantillons accroîtra encore la sensibilité de cette méthode. Le projet a permis d'améliorer la capacité locale de détection des éléments traces dans les échantillons d'environnement.

Production de radio-isotopes. La production de radio-isotopes par accélérateur offre une alternative intéressante à la production de radio-isotopes par réacteur de fission. Les accélérateurs utilisés pour produire ces isotopes sont généralement des cyclotrons produisant des faisceaux de protons de 15 à 60 MeV. Les radio-isotopes à court période produits par les accélérateurs sont largement utilisés en médecine nucléaire en raison de la dose réduite reçue par le patient. Il s'agit notamment d'isotopes de tomographie à émission de positons (TEP) tels que le fluor 18 et le sodium 22 (utiles pour le diagnostic et la recherche médicale), le gallium 67 en citrate, le rubidium 81/krypton 81 (pour l'imagerie pulmonaire) et divers isotopes d'iode, en particulier l'iode 123. Les radiopharmaceutiques utilisant ces isotopes à courte période permettent d'obtenir un diagnostic optimal tout en produisant le minimum de déchets radioactifs. L'Agence soutient plusieurs activités de recherche et projets de coopération technique dans ce domaine.

■ **Israël.** Un cyclotron destiné à la production de radio-isotopes a été mis en place en Israël à l'Organisation médicale Hadassah et dans des laboratoires de radiochimie. L'Agence aide à

mettre sur pied des installations de production de radiopharmaceutiques marqués au fluor 18 et destinés à diagnostiquer des troubles cardiologiques, oncologiques, neurologiques et psychiatriques.

■ **Argentine.** L'Agence aide l'Argentine à développer, pour les services de médecine nucléaire du pays, la production par cyclotron de radiopharmaceutiques à iode 123 de grande pureté.

■ **Iran.** En Iran, des projets de coopération technique portent sur la production par cyclotron des radio-isotopes à courte période que sont le titane 201, le gallium 67, le krypton 81 et l'indium 111. La prochaine ligne de produits, à base de fluor 18 et d'iode 123, sera utilisée dans le cadre de services de tomographie à émission de positons.

Thérapie anticancéreuse. Environ 6000 accélérateurs linéaires d'électrons ont été installés dans le monde à des fins de thérapie anticancéreuse et quelques accélérateurs de protons sont également utilisés à des fins thérapeutiques (*voir article, page 33*). Dans le cadre de ses activités, l'Agence a récemment réuni un groupe consultatif sur l'utilisation thérapeutique des protons.

Sources de neutrons de spallation. Lorsque des faisceaux de protons émis par de puissants accélérateurs rencontrent des cibles en métaux lourds tels que le plomb, de nombreux neutrons sont éjectés (par "spallation"). La qualité des expériences de dispersion de neutrons est limitée par le flux de neutrons disponible.

Plusieurs applications, dont les suivantes, nécessitent des flux élevés de neutrons :

Dispersion de neutrons pour l'étude des matériaux. Les neutrons étant capables de pénétrer profondément la matière, la dispersion de neutrons est largement utilisée pour déterminer la structure interne de céramiques,



d'alliages métalliques, de matériaux magnétiques, de superconducteurs et d'échantillons biologiques.

Essais d'irradiation des matériaux. Des flux élevés de neutrons sont nécessaires pour tester la durée de vie de matériaux utilisés dans le cœur de réacteurs de fission et dans les parois de réacteurs de fusion.

Transmutation de déchets radioactifs. Les sources de neutrons de spallation peuvent être utilisées pour brûler les actinides excédentaires du combustible irradié provenant de réacteurs de fission ou pour éliminer du plutonium provenant d'armements.

Médocothérapie. Une forte puissance de la source de neutrons permettrait de réduire le temps d'irradiation du patient dans le cadre de la thérapie par capture de neutrons à bore. Étant donné que les puissantes sources de neutrons de spallation sont onéreuses, leurs faisceaux de neutrons sont souvent partagés par des utilisateurs provenant de plusieurs pays ; la coopération internationale joue donc un rôle important.

Accélérateurs d'électrons et rayonnements synchrotrons. Le traitement par faisceaux d'électrons est une méthode polyvalente et économique permettant d'améliorer les

caractéristiques physiques, chimiques et biologiques de nombreux matériaux. On utilise généralement des énergies de 0,3 à 10 MeV et des puissances de 1 à 100 kW. Les électrons ionisent les atomes, rompant les liens chimiques et entraînant des réactions chimiques, la dislocation d'atomes ou une stérilisation.

Les faisceaux d'électrons sont utilisés, notamment, pour réticuler des câbles et des isolants de câbles ; réticuler des films plastiques, des mousses et des tubes ; désinfecter des boues d'épuration et des eaux usées ; modifier des polymères en vrac ; vulcaniser du caoutchouc ; dépolymériser de la cellulose ; conserver les aliments ; durcir des revêtements ; modifier des textiles ; polymériser des greffes sur des films, des fibres ou du papier ; modifier des semi-conducteurs ; et stériliser du matériel médical.

Des systèmes à faisceaux d'électrons spécialement conçus ont été utilisés pour extraire des polluants des gaz d'échappement. La plupart des centrales électriques brûlent des combustibles fossiles qui émettent des gaz contenant des oxydes d'azote et de soufre, qui provoquent des emphysèmes et des pluies acides. La Pologne teste actuellement des faisceaux d'électrons destinés à extraire ces polluants des gaz de combustion. Dans le cadre d'un projet mis en œuvre en Iran, il sera mis en place un accélérateur national d'électrons destiné à introduire les traitements par faisceaux d'électrons dans la production industrielle de polymères, notamment.

Les accélérateurs d'électrons sont également utilisés pour l'étude des matériaux. Les faisceaux d'électrons émis par des machines telles que des microtrons ou des accélérateurs linéaires produisant des énergies supérieures à 25 MeV peuvent servir à produire des rayons gamma à haute énergie pour

l'activation des photons de divers échantillons, dont on peut ensuite déterminer les concentrations élémentaires.

Les accélérateurs à synchrotrons d'électrons à haute énergie (plusieurs GeV) servent de sources intenses de rayonnement lumineux synchrotron, qui peut être utilisé pour analyser la structure de nombreux matériaux, aussi bien organiques qu'inorganiques. L'Agence collabore avec le Centre international de physique théorique de Trieste (Italie) pour proposer aux chercheurs de pays en développement une formation aux applications des rayonnements synchrotrons.

DES PROGRÈS À SOUTENIR

Grâce à divers mécanismes, l'AIEA aide ses États membres à appliquer la technologie du plasma et des accélérateurs dans différents domaines. Ces applications présentent des avantages concrets dans l'industrie, la recherche, la surveillance de l'environnement, l'enseignement et les soins de santé, soutenant ainsi les plans et programmes nationaux de développement durable.

En plus d'aider les États membres à mettre au point leurs propres installations d'application du plasma et des accélérateurs, l'Agence peut favoriser la coopération internationale pour ce qui est d'utiliser des installations importantes telles que des installations de rayonnement synchrotron ou de spallation de neutrons, qui sont trop onéreuses à construire pour de nombreux pays. Comme l'utilisation de la technologie du plasma et des accélérateurs devrait se développer au cours de la prochaine décennie, il faudrait intensifier la coopération internationale pour que davantage de pays puissent profiter de ces applications. □

Photo : Un accélérateur d'électrons de l'Université de Miami/Jackson Memorial Medical Center est utilisé pour désinfecter des déchets hospitaliers infectieux.

UNE PERCÉE POSSIBLE

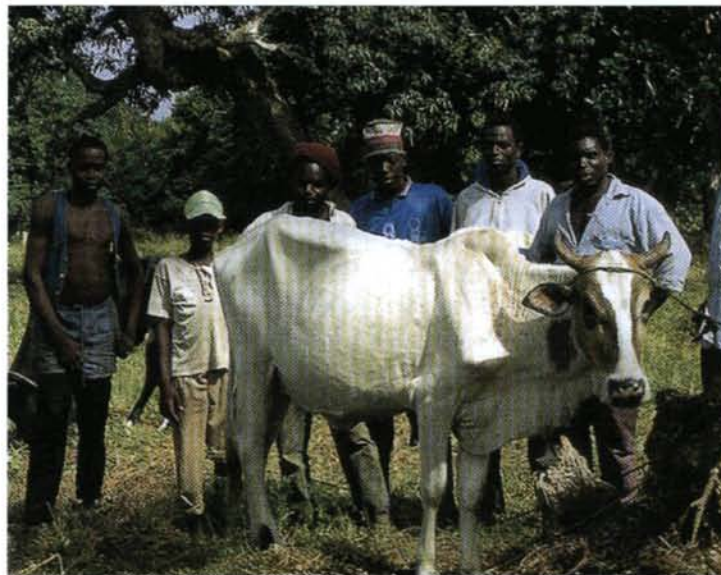
CRÉATION DE ZONES EXEMPTES DE MOUCHES TSÉ-TSÉ EN AFRIQUE SUBSAHARIENNE : POINT DE VUE SUR UN DÉFI

QIAN JIHUI ET THOMAS TISUE

La mouche tsé-tsé transmet des trypanosomes, qui rendent malades et tuent aussi bien les animaux que les humains. C'est l'une des principales raisons de la pauvreté des pays situés au sud du Sahara, un facteur écologique qu'on ne retrouve nulle part ailleurs dans le monde.

Le lien causal est simple : la maladie que propage la mouche tsé-tsé, la trypanosomiase, fait qu'il est très difficile d'élever du bétail dans les régions infestées par cet insecte. Dans le monde entier, il n'y a que dans ces régions d'Afrique qu'une seule maladie a limité à ce point la productivité agricole et largement empêché l'intégration de l'élevage à l'agriculture*. Lorsque des régions fertiles et productives ne peuvent être cultivées par des systèmes de polyculture, lorsqu'aucun animal de trait ne prospère, les agriculteurs de subsistance doivent labourer à la main. En conséquence, la productivité agricole réelle est nettement plus faible que lorsqu'on peut élever des animaux sains capables de tirer des charrues et de produire du fumier**.

Un problème croissant. Les régions infestées par la mouche tsé-tsé sont vastes et en augmentation : des régions de 36



pays représentant 9 à 10 millions de kilomètres carrés sont touchés. D'après l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), la perte directe en viande et en produits laitiers, ajoutée au coût des tentatives de programmes de lutte, s'élève chaque année à 1,2 milliard de dollars. Ce montant atteint 4,5 milliards si l'on tient compte des pertes de production potentielle. En outre, l'Organisation mondiale de la santé (OMS) estime que 55 à 60 millions d'individus sont exposés à la trypanosomiase – la maladie du sommeil ; plus de 300

000 personnes sont actuellement infectées et 40 000 décès ont été recensés en 1998***.

La triste réalité est que la mouche tsé-tsé est considérée comme un problème plus important aujourd'hui qu'il ne l'était lorsque les premières mesures de lutte ont été prises il y a plusieurs dizaines d'années, à l'époque où l'on a introduit la première génération d'insecticides.

M. Qian est directeur général adjoint et directeur du Département de la coopération technique de l'AIEA. M. Tisue est chef par intérim de la Section d'évaluation de ce Département.

Photo : Des pays africains de plus en plus nombreux espèrent appliquer la technologie des rayonnements dans le cadre de campagnes intégrées de lutte contre la mouche tsé-tsé

(Crédit : Kinley/AIEA)

* L'une des conséquences est que les habitants des pays situés au sud du Sahara obtiennent un tiers ou moins des calories, et moitié moins de protéines animales que les habitants des pays développés.

** Par exemple, l'introduction de bovins croisés à haut rendement mais trypanorésistants peut permettre de décupler la seule production de lait.

*** Des rapports récents alarmants indiquent que dans certaines régions, la moitié de la population est infectée ; la situation est maintenant aussi grave que pendant les épidémies des années 30.

Cette situation remet carrément en cause l'efficacité et la viabilité des nombreuses tentatives menées depuis lors pour lutter contre le vecteur (la mouche tsé-tsé) et la maladie. Bien que nouveaux pesticides aient fait leur apparition, leur utilisation reste controversée, notamment en raison de leurs effets sur les organismes non visés. Les tentatives de mise au point de vaccins pour le bétail ont été mises en échec par la biologie complexe des trypanosomes.

On a vu surgir un réseau commercial proposant des trypanocides, instrument préféré des agriculteurs indigents des régions infestées par la mouche tsé-tsé, qui les utilisent de façon non réglementée pour protéger le bétail*. En conséquence, on rapporte de plus en plus de cas de résistance aux trypanocides.

En partie du fait de ces antécédents décourageants, les responsables politiques et les faiseurs d'opinion des pays tant bailleurs de fonds que bénéficiaires tendent à penser que le problème de la trypanosomiase est insoluble. Or, on continue de dépenser d'importantes sommes pour des mesures qui manquent de coordination et de cohérence.

Des mesures rationnelles peuvent être prises. Aujourd'hui, il existe de meilleures méthodes pour lutter contre la mouche tsé-tsé. On dispose désormais, à condition que la communauté internationale le veuille, de mesures efficaces par rapport au coût et respectueuses de l'environnement permettant d'éliminer la mouche tsé-tsé de vastes régions d'Afrique.

Deux éléments peuvent transformer la création de vastes

zones exemptes de mouches tsé-tsé d'un rêve en un objectif réalisable : un bon concept de gestion et une technique appropriée.

Le concept de gestion clé est une intervention à grande échelle faisant appel à une méthode progressive et à un éventail de techniques. L'un des instruments essentiels de la phase finale d'une telle campagne d'éradication est la technique de l'insecte stérile.

Intervention à grande échelle.

La méthode d'intervention à grande échelle vise des populations entières d'insectes. Elle a fait ses preuves de nombreuses fois avec une grande variété de ravageurs des cultures et du bétail et de vecteurs de maladies. Dans le cas de la mouche tsé-tsé, le concept d'intervention à grande échelle intègre plusieurs méthodes de lutte afin d'obtenir une rentabilité maximale et un minimum d'effets sur l'environnement.

La prévention de la maladie par l'élimination des vecteurs est, chaque fois que c'est techniquement réalisable et économiquement justifiable, la dernière étape logique de la méthode d'intervention intégrée à grande échelle. Après des décennies de recherche de solutions, la communauté scientifique a commencé à s'orienter vers cette méthode d'intervention pour combattre la mouche tsé-tsé et la trypanosomiase.

Technique de l'insecte stérile.

La technique de l'insecte stérile est la méthode de lutte contre les ravageurs la plus respectueuse de l'environnement. Elle consiste à produire en masse et à relâcher systématiquement par voie aérienne des insectes mâles stérilisés par irradiation mais

normalement compétents, qui recherchent dans la nature des femelles pour s'accoupler. Ces accouplements stériles empêchent la reproduction de la population visée, qui décline au point où elle n'est plus autosuffisante, ce qui entraîne son éradication.

La technique de l'insecte stérile a été à la base de campagnes d'éradication efficaces mises en œuvre contre la lucilie bouchère en Libye, aux États-Unis, au Mexique et en Amérique centrale, ainsi que contre la mouche méditerranéenne des fruits dans plusieurs parties du monde.

Un outil éprouvé. L'efficacité démontrée par la technique de l'insecte stérile contre la mouche méditerranéenne des fruits et la lucilie bouchère montre qu'elle peut être appliquée aux différentes espèces de la mouche tsé-tsé.

Les éléments essentiels pour mettre en œuvre la technique de l'insecte stérile sont a) la production industrielle d'insectes stérilisés, et b) leur libération par avion au dessus de la zone visée. Il suffit de considérer la campagne menée contre la lucilie bouchère aux États-Unis, au Mexique et en Amérique centrale pour voir que cette technique est efficace. Là, la libération aérienne de mouches de lucilie bouchère stériles élevées dans de grandes unités de production a permis d'éradiquer cet insecte de ses zones de prévalence, qui allaient du sud des États-Unis à l'isthme de Panama. Le territoire total libéré de la lucilie en quatre décennies approche la superficie des zones d'Afrique infestées par la mouche tsé-tsé.

Ce qui a fonctionné contre la lucilie peut s'appliquer aux campagnes intégrées d'éradication de la mouche tsé-tsé. Des systèmes semi-automatisés d'élevage de mouches tsé-tsé sont en cours d'élaboration. En outre, la technique de libération aérienne a été adaptée aux mouches tsé-tsé et est en cours de perfectionnement.

*On estime qu'environ 35 millions de doses par an sont utilisées en Afrique pour traiter la maladie (Greer & Holmes, 1998). Dans certains pays, 70% à 80% des revenus des vétérinaires privés proviennent de la vente de trypanocides. Chaque diagnostic de trypanosomiase animale coûte entre 4 et 5 dollars. En conséquence, plus de 90% des doses sont administrées sans diagnostic fiable (Bauer, 1999).

L'épreuve du feu a eu lieu à Zanzibar en 1995-1997, où des libérations aériennes de mâles stérilisés sur les 1500 kilomètres carrés de l'île d'Unguja ont permis d'y éradiquer la mouche tsé-tsé. La trypanosomiase y est devenue indécélable en quelques mois.

PLAN D'ACTION : UNE INTERVENTION PROGRESSIVE ET INTÉGRÉE

L'achèvement des activités essentielles de recherche-développement au cours des deux dernières décennies, parallèlement aux résultats positifs obtenus à Zanzibar, marque la fin de la première phase d'un plan d'action capable de libérer durablement d'importantes zones de la mouche tsé-tsé. Cela permettra d'introduire des systèmes intensifs d'agriculture et d'élevage, minimisant ainsi la nécessité d'étendre l'agriculture à des régions sauvages.

La mouche tsé-tsé n'est pas répartie régulièrement dans sa zone de prévalence. Il existe de nombreux "îlots" en ce sens que l'on rencontre des sous-populations dans des zones confinées, dont les limites sont fixées à la fois par des facteurs physiques (chaînes montagneuses, larges corps d'eau et déserts) et par la plage de tolérance limitée de la mouche tsé-tsé à la température, à l'humidité et au couvert végétal*.

Phase II : Fixation des limites. Dans le cadre de la deuxième

phase du plan d'action, on définira les limites de ces "îlots" de populations de tsé-tsé. Grâce aux outils moléculaires modernes de zoogénétique, cette tâche sera grandement accélérée et ôtera toute ambiguïté dans les résultats. L'élimination de ces populations confinées, l'une après l'autre, créera des zones de plus en plus importantes exemptes de mouche tsé-tsé, qui n'auront plus besoin d'obstacles artificiels pour être exploitées. L'objectif de cette phase est clair : l'élimination durable de populations de mouche tsé-tsé confinées afin de créer l'équivalent de nombreux "Zanzibars" sur le continent.

Des populations confinées de ce type, comparables à des îles virtuelles, sont en cours de cartographie, par exemple, en Éthiopie et au Mali ; sur les berges et à proximité du lac Victoria ; et au Botswana.

Le Gouvernement éthiopien prépare actuellement l'élimination de populations et la libération de mouches stériles dans le sud de la vallée du Rift et a invité d'autres partenaires, y compris l'AIEA, à participer à cette opération de grande envergure. Ailleurs, la planification de projets progresse bien. Globalement, le rythme s'accélère à mesure que l'on prend conscience du fait que le problème de la mouche tsé-tsé et de la trypanosomiase n'a plus besoin d'être considéré comme un fait immuable de la vie africaine.

Grâce au soutien croissant apporté par les gouvernements africains et par les organisations internationales de développement, la deuxième phase verra l'affinage de techniques permettant de minimiser les coûts et de maximiser les avantages.

Phase III : Intégration des techniques. Pendant la troisième phase, on intégrera certaines techniques traditionnelles à la technique de l'insecte stérile dans le cadre d'une stratégie d'élimination

visant à étendre la "mosaïque" des zones exemptes de mouche tsé-tsé. Le but sera d'établir des zones importantes et exploitables exemptes de mouche tsé-tsé.

Phase IV : Poursuite des activités par des spécialistes nationaux. La quatrième phase est axée sur le long terme et prévoit l'utilisation et la commercialisation généralisées de campagnes d'élevage et de libération de mouches, intégrées dans le cadre d'une intervention de grande envergure à certaines techniques traditionnelles. Une telle méthode permettra de s'attaquer à grande échelle à la mouche tsé-tsé dans d'importantes régions d'Afrique.

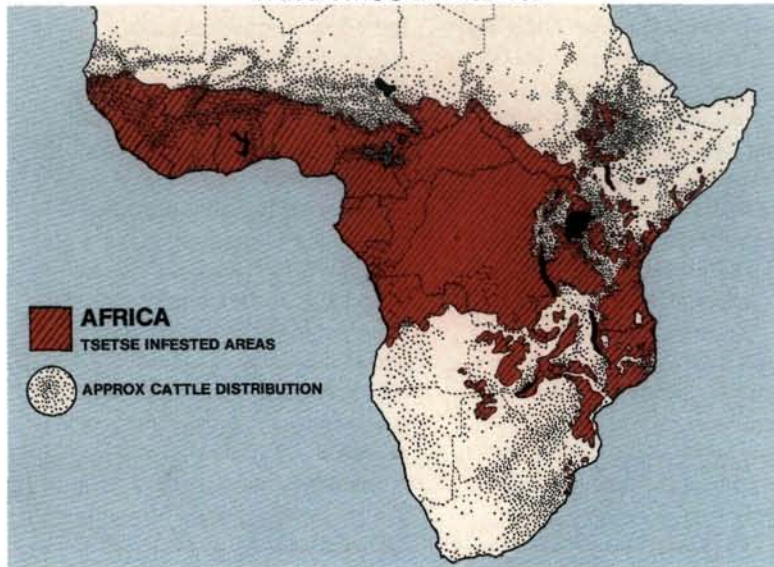
Un élément clé de cette phase est qu'elle serait mise en œuvre par des Africains tirant parti de la réussite d'activités précédentes de transfert de technologie et de développement d'infrastructures. Ces activités antérieures (et permanentes) ont créé les conditions d'interventions à grande échelle.

Deux changements fondamentaux de stratégie – passage d'une lutte permanente et réactive contre la maladie à une lutte antivectorielle préventive ; et passage de mesures antivectorielles dispersées et locales à une action concertée englobant la technique de l'insecte stérile – montrent la voie qu'il faudra suivre à l'avenir.

Une question essentielle sera, pour les dirigeants de plusieurs pays africains touchés par la mouche tsé-tsé, de convenir d'une stratégie d'action concertée visant à créer d'importantes zones exemptes de mouche tsé-tsé, et à prévenir ainsi la trypanosomiase. On dispose pour cela d'un modèle, à savoir celui de l'Initiative du Cône Sud, qui visait à éliminer en Amérique latine des insectes transmettant par piqûre la maladie de Chagas. Dans le cadre de cette campagne unique, plusieurs présidents d'États d'Amérique latine ont décidé d'éliminer la

*Les stades immatures de la mouche tsé-tsé sont transportés par la mouche adulte et ne peuvent donc pas être transportés passivement par les animaux ou les fruits vendus, comme c'est le cas avec la lucilie bouchère ou la mouche méditerranéenne des fruits, respectivement. En outre, la mouche tsé-tsé adulte ne peut pas parcourir les distances que parcourt la lucilie bouchère.

RÉPARTITION DU BÉTAIL ET DES ZONES INFESTÉES PAR LA MOUCHE TSÉ-TSÉ



maladie de Chagas (causée par le *Trypanosoma cruzi* et transmise par la piqûre de triatomas) d'Argentine, de Bolivie, du Brésil, du Chili, du Paraguay et de l'Uruguay, essentiellement par élimination des vecteurs. La transmission a été interrompue en Uruguay en 1997 et devrait l'être prochainement dans les autres pays.

Coût et avantages des campagnes de lutte contre la mouche tsé-tsé. Une étude récente financée par le Department for International Development (DFID) du Royaume-Uni offre une analyse économique du problème de la mouche tsé-tsé et de la trypanosomiase. Analysant les investissements réalisés dans le cadre de projets de lutte et d'éradication à grande échelle (mis en œuvre sur

plus de 100 000 km²), l'étude a projeté au cours des 20 premières années un ratio avantage/coût de 2,6 : 1 passant progressivement, par la suite, à 5,2 : 1. Analysant les investissements réalisés dans le cadre de projets de petite échelle mis en œuvre au niveau d'exploitations (1 à 10 km²), l'étude a estimé qu'ils produiraient, sur une période de 20 ans, un ratio avantage/coût de 2,1 à 2,4 : 1.

La préface de l'étude précise : "... *Le fait de combattre la trypanosomiase sera de toute évidence l'une des façons les plus rentables de lutter à grande échelle contre la pauvreté. Le présent rapport représente un défi pour les gouvernements, les responsables politiques, les organismes internationaux et nationaux d'aide humanitaire, les ONG, les Églises et*

** Dans de nombreux endroits, les problèmes liés à la mouche tsé-tsé touchent plusieurs pays. Il importe donc de mettre en place une solide collaboration internationale.*

*** Pour nourrir la population humaine en progression croissante de l'Afrique, il sera soit nécessaire de continuer à étendre les systèmes d'élevage et d'agriculture à faible productivité dans les zones forestières et sauvages actuelles ou d'introduire des systèmes intensifs dans les zones agricoles existantes, en particulier dans les zones périurbaines, et de protéger ainsi les zones sauvages. Cette dernière solution n'est réalisable qu'en introduisant des races de bovins améliorées, chose qui ne peut se faire qu'en ayant d'abord éradiqué la mouche tsé-tsé.*

chaque individu qui se fixe pour objectif professionnel la réduction et l'éradication finale de la pauvreté. Ceux qui ignorent l'occasion qui se présente ici doivent mettre en doute leur propre attachement à cet objectif."

APPLIQUER DES SOLUTIONS DURABLES

La réussite de la deuxième phase et les considérations de type coût/avantages seront déterminantes pour motiver les responsables politiques et les bailleurs de fonds*.

Cependant, il n'est pas nécessaire d'entrer dans les détails pour comprendre que des solutions durables – par exemple la création d'importantes zones normalement exploitées exemptes de mouche tsé-tsé – l'emporteront toujours, économiquement et écologiquement, sur des méthodes comportant perpétuellement des coûts récurrents liés notamment aux trypanocides et aux insecticides, sans résoudre pour autant le problème écologique sous-jacent**. La seule question est le coût économique de la solution durable, et c'est souvent autant une question de volonté politique que de dollars.

Fait encore plus important : notre point de vue sur les coûts et les avantages doit prendre en compte la gravité fondamentale du problème. Dans ce cas précis, le problème est à l'origine même de la pauvreté d'une grande partie de l'Afrique. Notre vision doit s'élargir pour saisir les énormes progrès socio-politiques que sa résolution permettra.

Les moyens de résoudre le problème de la mouche tsé-tsé et de la trypanosomiase existent. Ces moyens sont techniquement et logistiquement réalisables, et économiquement abordables. Les obstacles restants sont d'ordre politique et administratif ; aucun d'entre eux n'est insurmontable. □

LE CONSEIL DE L'AIEA PRÊT À EXAMINER LE PROJET DE BUDGET POUR 2001

Le projet de programme et budget de l'AIEA pour 2001 sera soumis dans les mois à venir au Conseil des gouverneurs de l'Agence, qui compte 35 membres. Plus tôt dans l'année, le Comité du programme et budget du Conseil a examiné le projet de document lors de réunions tenues en janvier.

Le projet de budget ordinaire pour 2001 continue d'appliquer le principe d'une croissance nulle et maintient les dépenses globales à peu près au même niveau que cette année. Le montant total des dépenses prévues en 2001 s'élève à 221,7 millions de dollars pour l'ensemble des programmes de l'Agence.

Six principaux secteurs de programme sont couverts : énergie nucléaire et cycle du combustible ; sciences et applications nucléaires ; sûreté nucléaire, sûreté radiologique et sûreté des déchets ; vérification nucléaire et sécurité des matières ; gestion de la coopération technique ; et élaboration de politiques, gestion et services d'appui.

Le projet de programme et budget reflète les efforts déployés par l'Agence pour mettre au point une nouvelle méthode de planification et de formulation axée sur les résultats. Dans toute la mesure possible, il s'appuie sur la *stratégie à moyen terme* de l'Agence examinée par le Conseil en décembre 1999.

Dans sa déclaration prononcée devant le Conseil de l'AIEA en mars 2000, Mohamed ElBaradei, directeur général de l'Agence, a mis en avant le sous-financement annuel de quelque 15 à 20 millions de dollars dont souffrent, selon lui, les activités menées dans les domaines des garanties et de la sûreté. Et le problème s'aggrave, a-t-il ajouté, au point qu'il ne sera pas en mesure, en toute bonne foi, de garantir que l'Agence pourra s'acquitter pleinement de son mandat dans ces deux domaines.

Réunions de mars. Lors des réunions de mars 2000, les questions dont était saisi le Conseil avaient principalement trait à la sûreté nucléaire et

radiologique et à la sûreté des déchets, y compris des points relatifs au *Rapport d'ensemble sur la sûreté nucléaire* pour 1999 et aux normes de sûreté de l'Agence, ainsi qu'à la vérification nucléaire et à la sécurité des matières.

Parmi les mesures prises, le Conseil a approuvé trois protocoles additionnels aux accords de garanties conclus avec l'Estonie, la Namibie et la Fédération de Russie (*voir tableau, page 52*). À la fin du mois de mars, le Conseil avait approuvé, au total, des protocoles additionnels avec 49 États.

Coopération technique. En décembre 1999, le Conseil a adopté le Programme de coopération technique de l'Agence pour 2000. Il a souligné la nécessité d'établir de solides liens entre les projets et les priorités de développement nationales, et de vérifier l'existence, dans les pays bénéficiaires, de normes de sûreté satisfaisantes avant d'entreprendre toute assistance mettant en jeu des sources de rayonnements.

OUVERTURE DE LA SIXIÈME CONFÉRENCE D'EXAMEN DU TNP EN AVRIL

Les parties au Traité sur la non-prolifération des armes nucléaires (TNP) devraient se réunir à New York du 24 avril au 19 mai 2000 dans le cadre de la Sixième conférence d'examen du Traité.

Le TNP, signé en 1968 et entré en vigueur en 1970, a pour objet de mettre fin à la prolifération des armes nucléaires ; d'assurer la sécurité des États non dotés d'armes nucléaires qui ont renoncé à l'option nucléaire ; de créer un climat favorable à la coopération dans le domaine des utilisations pacifiques de l'énergie nucléaire ; et d'encourager, en matière de maîtrise des armements, des négociations de bonne foi aboutissant à l'élimination finale des armes nucléaires.

Réunies en 1995 lors de la Cinquième conférence des Parties au Traité sur la non-prolifération des armes nucléaires chargée d'examiner le traité et la question de sa prorogation, les Parties ont pris plusieurs décisions. Elles ont prorogé le Traité pour une durée indéfinie ; adopté des Principes et objectifs de la non-prolifération et du désarmement nucléaires ; renforcé le processus d'examen du Traité ; et réaffirmé la nécessité d'une adhésion universelle au TNP et appelé tous les États du Moyen-Orient à adhérer au Traité et à accepter des garanties généralisées de l'AIEA. En février 2000, le TNP comptait 187 États parties. Les pays dépositaires sont les États-Unis la Fédération de Russie et le Royaume-Uni.

Rôles et responsabilités de l'AIEA. En vertu du TNP, l'AIEA assume le rôle spécifique d'organisme chargé du contrôle international de l'application des garanties et est généralement reconnue comme étant l'organe multilatéral de transfert de technologies aux fins des utilisations pacifiques de l'énergie nucléaire. Concrètement, l'Agence joue également un rôle dans la vérification des zones exemptes d'armes nucléaires et des matières nucléaires provenant d'armements.

Le texte intégral du Traité et la liste des États parties peuvent être consultés à la section "Documents" du site Internet *WorldAtom* de l'AIEA à l'adresse www.iaea.org.

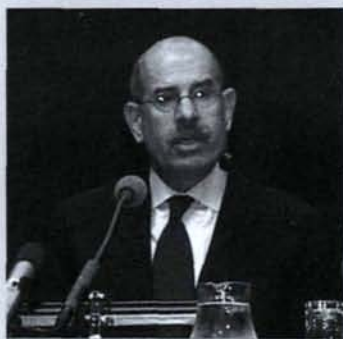
DÉCLARATIONS DU DIRECTEUR GÉNÉRAL DE L'AIEA

Le Dr. Mohamed ElBaradei, directeur général de l'Agence, a récemment pris la parole lors de réunions tenues à Cordoue (Espagne), Berlin (Allemagne) et Bangkok (Thaïlande) pour évoquer le développement du nucléaire dans le monde et les activités de l'AIEA.

Le texte intégral des discours du directeur général peut être consulté à la rubrique "Press Centre" du site Internet *WorldAtom* de l'AIEA à l'adresse www.iaea.org.

Titre et lieu des réunions récentes :

■ **Extraits du discours liminaire prononcé par le directeur général devant le Conseil des**



gouverneurs de l'AIEA le 20 mars 2000 à Vienne (Autriche).

■ **La sûreté de la gestion des déchets radioactifs, 16 mars 2000.** Discours d'ouverture prononcé à Cordoue (Espagne) lors de la Conférence internationale sur la

sûreté de la gestion des déchets radioactifs.

■ **Les utilisations pacifiques de l'énergie nucléaire.** Discours d'orientation prononcé le 1^{er} février 2000 à Bangkok (Thaïlande) dans le cadre du Séminaire régional d'information organisé par l'AIEA en coopération avec les autorités thaïlandaises chargées de l'énergie et du nucléaire.

■ **L'avenir de l'énergie nucléaire : point de vue de l'AIEA.** Discours prononcé le 27 janvier 2000 à Berlin (Allemagne) dans le cadre du Forum atomique allemand.

SYSTÈME DE GARANTIES RENFORCÉES : ÉTAT DES PROTOCOLES ADDITIONNELS EN MARS 2000

Allemagne	signé le 22 sept. 1998	Irlande	signé le 22 sept. 1998
Arménie	signé le 29 sept. 1997	Italie	signé le 22 sept. 1998
Australie	signé le 23 sept. 1997; ratifié le 12 déc. 1997	Japon	signé le 4 déc. 1998 ; ratifié le 16 déc. 1999
Autriche	signé le 22 sept. 1998	Jordanie	signé et ratifié le 28 juillet 1998
Belgique	signé le 22 sept. 1998	Lituanie	signé le 11 mars 1998
Bulgarie	signé le 24 sept. 1998	Luxembourg	signé le 22 sept. 1998
Canada	signé le 24 sept. 1998	Monaco	signé et ratifié le 30 sept. 1999
Chine	signé le 31 déc. 1998	Namibie	signé le 22 mars 2000
Chypre	signé le 29 juillet 1999	Norvège	signé le 29 sept. 1999
Corée (Rép. de)	signé le 21 juin 1999	Nouvelle-Zélande	signé et ratifié le 24 sept. 1998
Croatie	signé le 22 sept. 1998	Ouzbékistan	signé le 22 sept. 1998 ; ratifié le 21 déc. 1998
Cuba	signé le 15 oct. 1999	Pays-Bas	signé le 22 sept. 1998
Danemark	signé le 22 sept. 1998	Pérou	signé le 22 mars 2000
Équateur	signé le 1 ^{er} oct. 1999	Philippines	signé le 30 sept. 1997
Espagne	signé le 22 sept. 1998	Pologne	signé le 30 sept. 1997
Estonie	(approuvé par le Conseil de l'AIEA le 21 mars 2000)	Portugal	signé le 22 sept. 1998
États-Unis	signé le 12 juin 1998	Rép. tchèque	signé le 28 sept. 1999
Féd. de Russie	signé le 22 mars 2000	Roumanie	signé le 11 juin 1999
Finlande	signé le 22 sept. 1998	Royaume-Uni	signé le 22 sept. 1998
France	signé le 22 sept. 1998	Saint-Siège	signé et ratifié le 24 sept. 1998
Géorgie	signé le 29 sept. 1997	Slovaquie	signé le 27 sept. 1999
Ghana	signé le 12 juin 1998	Slovénie	signé le 26 nov. 1998
Grèce	signé le 22 sept. 1998	Suède	signé le 22 sept. 1998
Hongrie	signé le 26 nov. 1998	Uruguay	signé le 29 sept. 1997
Indonésie	signé et ratifié le 29 sept. 1999		

**IN MEMORIAM :
SIGVARD EKLUND,
ANCIEN DIRECTEUR GÉNÉRAL DE L'AIEA**

L'AIEA a appris avec une grande tristesse, au début de l'année, que le Dr Sigvard Arne Eklund, ancien directeur général de l'Agence, était décédé le 30 janvier 2000 à Vienne (Autriche). Le Dr Eklund avait été le deuxième directeur général de l'Agence, entamant son premier mandat le 1^{er} décembre 1961. Il a assumé cette fonction pendant 20 ans, quittant l'Agence le 30 novembre 1981. Son activité à la tête de l'AIEA, pendant cette période, a été caractérisée par le président de l'Assemblée générale des Nations Unies, en 1981, de la façon suivante : "La gestion ferme et avisée du Dr Eklund a montré les avantages que peut présenter, pour les organisations internationales, une direction forte". Lors du départ en retraite du Dr Eklund, la Conférence générale de l'AIEA a décidé, par acclamation, de lui conférer le titre de Directeur général émérite de l'AIEA. Elle a adopté une résolution du Conseil des gouverneurs de l'AIEA louant son travail. Le Conseil des gouverneurs, rappelant que le Dr Sigvard Eklund avait servi l'Agence, pendant ses 20 ans de direction générale, avec fidélité et un infatigable dévouement, lui a exprimé sa reconnaissance pour la contribution qu'il avait apportée à la promotion des utilisations pacifiques de l'énergie atomique et à la cause de la paix. Le Conseil a en outre déclaré "qu'aucun homme n'a fait plus que lui pour favoriser le développement de l'Agence et la réalisation des objectifs énoncés dans son Statut" et a loué "ses grandes qualités humaines et ses réalisations en tant qu'homme d'État et de science".



Le Dr Sigvard Arne Eklund était né en 1911 à Kiruna (Suède). De 1937 à 1945, il a été premier assistant, puis chercheur principal à l'Institut Nobel de physique. De 1946 à 1950, il a été chercheur principal à l'Institut de recherche de défense nationale à Stockholm. Il a été professeur assistant de physique nucléaire à l'Institut royal de technologie de Stockholm de 1946 à 1956. De 1950 à 1956, il a été directeur de la recherche à l'Agence suédoise de l'énergie atomique d'alors (AB Atomenergi, Stockholm). Avant sa nomination au poste de directeur général de l'AIEA en 1961, le Dr Eklund était directeur général adjoint d'AB Atomenergi depuis 1950, et directeur de la Division de développement des réacteurs d'AB Atomenergi depuis 1957. En 1957, il a fait office de secrétaire général de la Deuxième conférence internationale des Nations Unies sur les utilisations pacifiques de l'énergie atomique.

**IN MEMORIAM :
DR PAUL R. JOLLES**

En mars 2000, l'AIEA a appris avec tristesse le décès du Dr Paul Rudolph Jolles, diplomate suisse et ancien haut fonctionnaire de l'AIEA. Le Dr Jolles est décédé le 11 mars 2000 à Berne (Suisse) à l'âge de 80 ans.

Au service de la communauté internationale et de l'AIEA, il a notamment assumé la fonction de secrétaire exécutif de la Commission préparatoire qui a œuvré à la création de l'AIEA en 1957. Après la création de l'AIEA, il a été nommé directeur général adjoint chargé de l'administration par le premier directeur général de l'Agence, M. Sterling Cole (États-Unis). Le Dr Jolles a assumé cette fonction, en charge de l'administration, des activités de liaison, et du Secrétariat de l'AIEA jusqu'en 1961, date à laquelle il est retourné en Suisse. Par la suite, il a assuré, de 1984 à 1990, la présidence de Nestlé, la société suisse de produits alimentaires.

Né à Berne le 25 décembre 1919, le Dr Jolles avait étudié le droit aux universités de Berne et de Lausanne puis avait obtenu, en 1943, un doctorat de sciences politiques à l'Université Harvard (États-Unis).



ÉTATS ADHÉRANT AUX CONVENTIONS INTERNATIONALES DANS LE DOMAINE NUCLÉAIRE

De nouveaux États ont pris, pendant l'année écoulée, des mesures pour adhérer aux conventions internationales relatives à la sûreté nucléaire et aux domaines connexes, qui ont été adoptées sous les auspices de l'Agence.

■ **Convention sur la sûreté nucléaire.** Pendant l'année écoulée, trois nouveaux États et Euratom ont adhéré à la Convention, qui a pour objet la sûreté des centrales nucléaires. Euratom y a adhéré le 31 janvier 2000. En 1999, Chypre, Sri Lanka et les États-Unis sont devenues parties à la Convention. Chypre y a adhéré le 17 mars 1999, les États-Unis l'ont ratifiée le 11 avril 1999, et Sri Lanka y a adhéré le 11 août 1999. Fin mars 2000, la Convention comptait soixante-cinq signataires et cinquante-trois parties.

■ **Convention commune sur la sûreté de la gestion du combustible irradié et sur la sûreté de la gestion des déchets radioactifs.** Dix nouveaux pays sont devenus parties l'an dernier : la Lettonie (27 mars 2000), la Finlande (10 février 2000), la Croatie (10 mai 1999), la République tchèque (25 mars 1999), le Danemark (3 septembre 1999), le Maroc (23 juillet 1999), la Roumanie (6 septembre 1999), la Slovénie (25 février 1999), l'Espagne (11 mai 1999) et la Suède (29 juillet 1999). Les nouveaux signataires ont été le Bélarus (13 octobre 1999), les Pays-Bas (10 mars 1999) et la Fédération de Russie (27 janvier 1999). Fin mars 2000, quarante et un États avaient signé la Convention et quinze étaient devenus parties.

■ **Convention sur la protection physique des matières nucléaires.** Le 1^{er} avril 1999, le Panama a ratifié la Convention. Fin mars 2000, soixante-quatre États étaient devenus parties.

■ **Convention de Vienne relative à la responsabilité civile en matière de dommages nucléaires.** Le 13 avril 1999, l'Uruguay a déposé son instrument d'adhésion. Fin mars 2000, trente-deux États étaient devenus parties.

■ **Protocole à la Convention de Vienne relative à la responsabilité civile en matière de dommages nucléaires.** Le Maroc a déposé son instrument de ratification le 6 juillet 1999, rejoignant ainsi la Roumanie. Fin mars 2000, le Protocole comptait quatorze signataires : Argentine, Bélarus, Hongrie, Indonésie, Italie, Liban, Lituanie, Maroc, Pérou, Philippines, Pologne, République tchèque, Roumanie et Ukraine.

■ **Protocole commun relatif à l'application de la Convention de Vienne et de la Convention de Paris.** L'Ukraine a adhéré au Protocole commun le 24 mars 2000. Fin mars 2000, vingt et un États étaient devenus parties.

■ **Convention sur l'indemnisation complémentaire des dommages nucléaires.** La Convention compte deux parties contractantes : le Maroc, qui a déposé son instrument de ratification le 6 juillet 1999, et la Roumanie, qui a ratifié la Convention le 2 mars 1999. Fin mars 2000, la Convention comptait treize signataires : Argentine, Australie, États-Unis,



Indonésie, Italie, Liban, Lituanie, Maroc, Pérou, Philippines, République tchèque, Roumanie et Ukraine.

■ **Convention sur l'assistance en cas d'accident nucléaire ou de situation d'urgence radiologique.** La Belgique et le Panama ont ratifié la Convention en 1999, le 4 janvier et le 1^{er} avril, respectivement. Fin mars 2000, soixante-dix-sept États étaient devenus parties.

■ **Convention sur la notification rapide d'un accident nucléaire.** La Belgique et le Panama ont ratifié la Convention en 1999, le 4 janvier et le 1^{er} avril, respectivement. Fin mars 2000, quatre-vingt quatre États étaient devenus parties.

On peut consulter une liste actualisée des textes des conventions sur le site Internet WorldAtom de l'AIEA à l'adresse <http://www.iaea.org>. Sur la page d'accueil, sélectionner simplement la section "Documents".

■ **Formation aux garanties.** L'AIEA organise un cours international de formation sur le système national de comptabilité et de contrôle des matières nucléaires à Saint Pétersbourg (Fédération de Russie) du 28 août au 8 septembre 2000. Pourront assister à ce cours organisé en coopération avec le Ministère russe de l'énergie atomique jusqu'à 30 participants provenant des États membres de l'AIEA. Le cours a pour objet d'aider les États à établir et à maintenir leur système national de comptabilité et de contrôle des matières nucléaires et à garantir l'adaptation de ce système aux exigences liées aux obligations contractées par les États au titre des garanties.

■ **Adhésion à l'AIEA.** En mars, le Conseil des gouverneurs de l'AIEA a examiné favorablement la demande d'adhésion du Tadjikistan, recommandant cette demande à la Conférence générale, qui se réunira en septembre 2000. L'AIEA compte actuellement 130 États membres.

■ **Nominations à l'AIEA.** L'Agence a procédé, récemment, à trois nominations. *M. Kwaku Aning* (Ghana) a été nommé représentant du directeur général de l'AIEA auprès de l'Organisation des Nations Unies et directeur du bureau de l'AIEA au siège de l'Organisation à New York. *M. Aning*, qui succède à *M. Berhan Andemicael*, a pris ses fonctions le 1^{er} février 2000. Par ailleurs, *M. Werner Burkart* (Allemagne) a été nommé directeur général adjoint et chef du Département des sciences et applications nucléaires. Il succède à *M. Sueo Machi* (Japon). À la fin de 1999, l'Agence a nommé, au sein de la Division de la sûreté radiologique et de la sûreté des déchets (Département de la sûreté nucléaire), *M. Khammar Mrabit*

(Maroc) chef de la Section de surveillance des rayonnements et des services de protection. Il succède à ce poste à *M. Robert Ouvrard*.

■ **Centres de recherche nucléaire.** En décembre 1999, l'Agence a organisé une réunion sur les centres de recherche nucléaire. Cette réunion, à laquelle participaient plus de 20 pays, a permis un échange de vues concernant les futures activités de ces centres et les problèmes à résoudre. Les centres contribuent dans une grande mesure à aider les pays à mettre en œuvre en toute sûreté les techniques nucléaires. Ont notamment été abordés les problèmes économiques et les problèmes de financement, la coopération internationale et l'information. Les participants ont en outre proposé plusieurs domaines d'éventuelle coopération, y compris la gestion des déchets, les réacteurs de type nouveau, l'eau, l'alimentation et l'environnement, et l'enseignement des sciences et techniques nucléaires.

■ **Sûreté de la gestion des déchets.** Plus de 300 experts provenant de 55 pays ont participé à la Conférence internationale sur la sûreté de la gestion des déchets radioactifs organisée en mars à Cordoue par l'AIEA. Les participants ont examiné les moyens de garantir la sûreté des déchets radioactifs et se sont employés à combler le fossé qui existe entre la perception du problème qu'ont les spécialistes et celle qu'a le public. L'une des principales conclusions tirées a été que la participation de toutes les parties intéressées – spécialistes, responsables politiques, société civile et médias – au processus de prise de décisions relatif à la



gestion des déchets radioactifs est indispensable pour parvenir à un consensus national et international quant à des solutions acceptables. L'AIEA rendra compte à la Conférence plus tard dans l'année. *Photo : Mohamed ElBaradei, directeur général de l'AIEA, s'adresse aux journalistes lors d'une conférence de presse à Cordoue.*

■ **Forum de l'industrie.** En janvier, l'AIEA a organisé, à Vienne, un forum réunissant des représentants de l'industrie nucléaire. Une vingtaine de groupes, représentant un grand nombre de régions géographiques et de spécialisations, étaient représentés. Parmi les thèmes abordés ont notamment figuré l'innovation technologique ; la sûreté et la réglementation dans un environnement libéralisé ; la compétitivité économique de l'énergie nucléaire ; et les déchets nucléaires et la partie terminale du cycle du combustible nucléaire.

■ **Rectificatif.** Dans le n° 3 du Vol. 41 du *Bulletin de l'AIEA*, une erreur typographique s'est produite dans l'article commençant à la page 22. Les références, aux pages 22 et 23 de l'article, à des giga-becquerels (GBq) doivent être lues comme étant des tera-becquerels (TBq). La rédaction regrette ces erreurs et prie les lecteurs de bien vouloir l'en excuser.

Senior External Relations Officer, Nuclear Technology, Interagency Affairs and General Policy Coordination Section Office of External Relations and Policy Coordination, Office of the Director General (2000/033). This P-5 position will be responsible for involved in all matters falling under the responsibility of the Section, including protocol matters. The position requires an advanced university degree with a sound academic background; at least 15 years' experience in diplomatic service or international service with 5 years' experience in an international organization; knowledge of and experience in the United Nations system; aptitude and proficiency for dealing with issues of a technical nature connected with nuclear technology. Fluency in English essential. Fluency in French, Spanish or Russian desirable. Good knowledge of German an advantage. Closing Date: 21 August 2000

Programme Management Officer, Latin America Section, Division for Europe, Latin America and West Asia, Department of Technical Co-operation (2000/030). This P-4 position will manage the technical co-operation programme of a specific group of countries, including the planning, implementation and administration of technical co-operation activities under programmes of the IAEA and UNDP (United Nations Development Programme) for countries in the Latin America region, and will assist in directing the work of the Section. The position requires an advanced university degree related to international development, public/business administration or management; or in natural sciences or engineering with additional administration studies; at least ten years' experience in the design, implementation and evalu-

ation of technical co-operation programmes; familiarity with information technology; familiarity with/understanding of nuclear technology; leadership skills to guide and coach others and ability to ensure the quality of programme management; ability to promote commitment in relation to effective implementation and longer term sustainability of project results; proven competence and leadership to co-ordinate others, mobilize resources and solve implementation issues; communication and negotiation skills and effectiveness as an Agency representative; proven ability to produce major reports, make presentations and advocate policy changes; knowledge of national and regional issues, conditions and technical co-operation initiatives. Closing Date: 31 August 2000

Project Manager (for Model Project INT/4/131), Division for Europe, Latin America and West Asia Department of Technical Co-operation (2000/801). This P-4 position will manage the planning, implementation and all other matters pertaining to the Division's projects in the area of radioactive waste management for wastes arising from the application of nuclear techniques, including the Interregional Model Project on Sustainable Technologies for Managing Radioactive Wastes in developing Member States. The position requires advanced university degree (preferably PhD or equivalent) in a physical or chemical science or engineering; at least 15 years' experience in developing, planning, implementing and evaluating low- and intermediate-level radioactive waste projects; experience in project management and computerized data systems; knowledge of the waste management needs and technical capabilities of developing countries; demonstrated ability to work

within the international community to establish and fund projects, including interaction at both the technical and the governmental level; familiarity with IAEA technology transfer activities, policies and practices would be advantageous; excellent communication skills in dealing with the multidisciplinary aspects of the technical, field, project/programme management and multicultural interactions.

Closing Date: 31 August 2000

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 envoie 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. Les 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).*

AVIS DE VACANCES DE POSTES SUR INTERNET

Les avis de vacances de postes d'administrateurs de l'AIEA ainsi que les formulaires de candidature sont disponibles sur Internet 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 ainsi qu'un spécimen du formulaire de candidature. Veuillez noter que les candidatures ne peuvent être transmises par voie électronique mais doivent être adressées par écrit à la Division du personnel de l'AIEA, B.P.100, A-1400 Vienne (Autriche).

Putting DSP Power Into the Hands of Safeguards Inspectors



Canberra's new InInspector 2000 is the world's first portable Multichannel Analyzer to use Digital Signal Processing (DSP) technology.

Field Safeguards Inspectors need to make fast, accurate, measurements, often in adverse conditions. The InInspector 2000 was designed specifically to meet these requirements – in a package that barely fills your hand.

The InInspector 2000 provides unsurpassed count rate and resolution performance, coupled with environmental stability previously seen only in high-end laboratory systems. This performance ensures high-quality results over a wide range of count rates for complex U and Pu spectra.

The 2.8 lb. package (including camcorder battery) and 12 hour battery life set a new standard for field portability and convenience, allowing inspections to be performed rapidly with minimal impact on site operations.

Software support is provided by the industry benchmark Genie-2000 software suite. Genie-2000 couples a broad arsenal of spectral analysis tools with an intuitive user interface and application packages designed specifically for Safeguards. The IMCA Uranium Enrichment and U-Pu InInspector packages are designed to provide Safeguards Inspectors with straightforward, error free operation.

To learn more, contact your local Canberra account manager today, e-mail us at customersupport@canberra.com, or visit our web site at www.canberra.com.



Canberra Industries, 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>



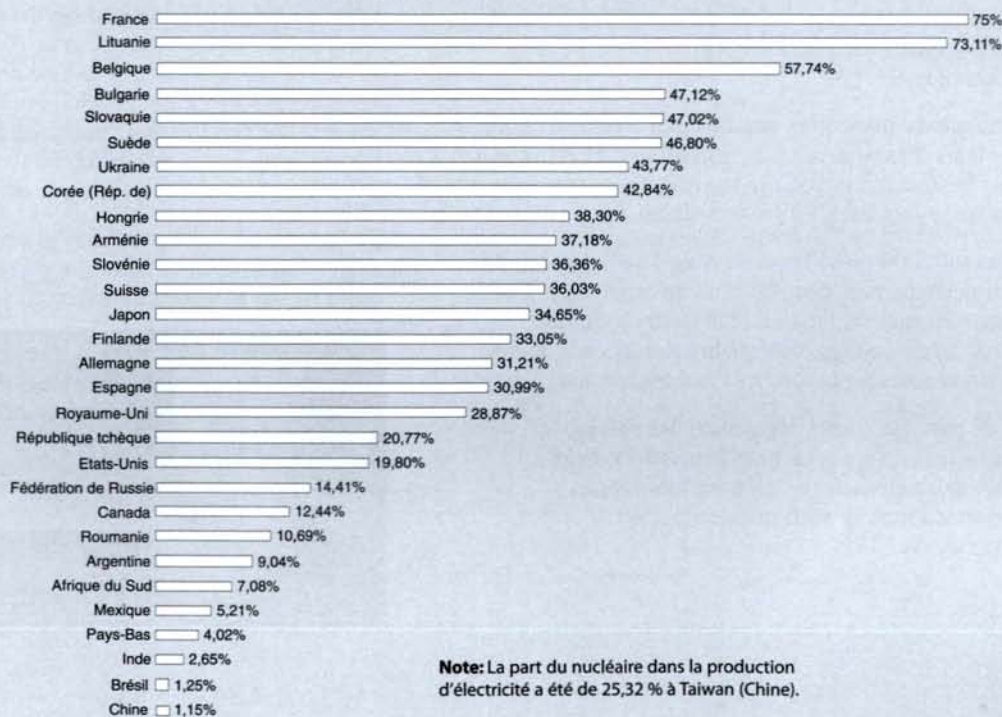
SITUATION DE L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE DANS LE MONDE

	EN SERVICE		EN CONSTRUCTION	
	NOMBRE DE TRANCHES	TOTAL MWE	NOMBRE DE TRANCHES	TOTAL MWE
AFRIQUE DU SUD	2	1842		
ALLEMAGNE	19	21122		
ARGENTINE	2	935	1	692
ARMÉNIE	1	376		
BELGIQUE	7	5712		
BRÉSIL	1	626	1	1229
BULGARIE	6	3538		
CANADA	14	9998		
CHINE	3	2167	7	5420
CORÉE, RÉP. DE	16	12990	4	3820
ESPAGNE	9	7470		
ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE	104	97145		
FINLANDE	4	2656		
FRANCE	59	63103		
HONGRIE	4	1729		
INDE	11	1897	3	606
IRAN			2	2111
JAPON	53	43691	4	4515
LITUANIE	2	2370		
MEXIQUE	2	1360		
PAKISTAN	1	125	1	300
PAYS-BAS	1	449		
RÉPUBLIQUE TCHÈQUE	4	1648	2	1824
ROUMANIE	1	650	1	650
ROYAUME-UNI	35	12968		
RUSSIE, FÉD. DE	29	19843	3	2825
SLOVAQUIE	6	2408	2	776
SLOVÉNIE	1	632		
SUÈDE	11	9432		
SUISSE	5	3182		
UKRAINE	14	12115	4	3800
TOTAL MONDIAL	433	349063	37	31128

* Ce total inclut Taïwan (Chine), où six réacteurs totalisant 4884 MWe sont opérationnels. Deux tranches sont en construction. Le tableau reflète la situation signalée à l'AIEA en avril 2000.

PART DU NUCLÉAIRE DANS LA PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ

Ces pourcentages sont valables pour avril 2000



Note: La part du nucléaire dans la production d'électricité a été de 25,32 % à Taïwan (Chine).

Handbook of RADIOACTIVITY ANALYSIS

Edited by

Michael F. L'Annunziata

WorldTech International Technical Services

Foreword by

Dr. Mohamed M. ElBaradei

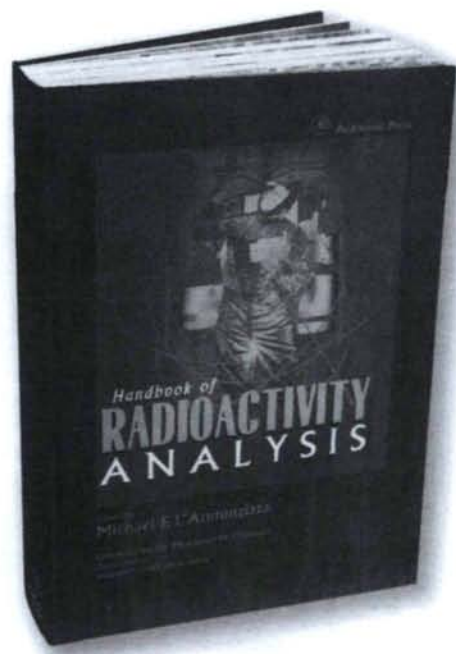
Director General,
International Atomic Energy Agency

KEY FEATURES

- * Includes sample preparation techniques for matrices such as soil, air, plant, water, animal tissue, and surface swipes
- * Provides procedures and guidelines for the analysis of commonly encountered natural and man-made environmental radionuclides
- * Covers high-sample-throughput microplate techniques and multi-detector scintillation proximity assay methods
- * Describes the time-saving techniques of computer protocol-controlled automatic activity analysis
- * Discusses absolute activity measurement methods for meeting scientific reporting requirements
- * Presents the latest methods of rapid electronic radionuclide imaging

CONTENTS

Acronyms, Abbreviations, and Symbols
Foreword by Dr. Mohamed M. ElBaradei
Preface
M.F. L'Annunziata, **Nuclear Radiation, Its Interaction with Matter and Radioisotope Decay**
K. Buchtela, **Gas Ionization Detectors**
P. F. Fettweis and H. Schwenn, **Semiconductor Detectors**
M.F. L'Annunziata and M.J. Kessler, **Radiotracer Liquid Scintillation Analysis**
G.T. Cook, C.J. Passo, Jr., and B.D. Carter, **Environmental Liquid Scintillation Analysis**
M.J. Kessler, **Statistical Computations in Counting**
J. Thomson, **Sample Preparation Techniques for Liquid Scintillation Analysis**
M.F. L'Annunziata, **Cherenkov Counting**
M.F. L'Annunziata, **Solid Scintillation Analysis**
M.F. L'Annunziata, **Flow Scintillation Analysis**
L.V. Upham and D.F. Englert, **Radionuclide Imaging**
T.J. Beugelsdijk and R.M. Hollen, **Robotics and Automation in Radiochemical Analysis**
Appendix: Table of Radioactive Isotopes
Index



1998, 771 pp., \$125.00/£79.95
ISBN: 0-12-436255-9

FROM THE REVIEWS...

"...The aim of the authors—to write a practical work that includes both principles and applications of modern radio analytical techniques—has been achieved. [Recommended to] upper-division undergraduates through professionals."

—CHOICE, JANUARY 1999

"... the information in the text is exquisitely presented and very readable.... Excellent applications to current research problems are given. There is also a good index and table of radioactive isotopes, the latter being very useful in such a book. The major strength of this book is its in-depth coverage of scintillation analysis and its prolific use of figures, diagrams, and tables."

—ANALYTICAL CHEMISTRY,
JUNE 1999

"This book, written by experienced specialists, covers the basic principles and, most importantly, the practical aspects of the radioanalytical methods that are in widespread use. ... The book not only serves as a reliable guide to the use of well-established methods, but also draws attention to recent developments"

—ANGEWANDTE CHEMIE,
NOVEMBER 1999

In The US and Canada:
ACADEMIC PRESS
Order Fulfillment Dept. DM27098
6277 Sea Harbor Drive
Orlando, FL 32887
Call Toll Free:
1-800-321-5068
Fax: 1-800-874-6418
E-mail: ap@acad.com

All other countries:
ACADEMIC PRESS
Harcourt, Inc.
Customer Service Dept.
Foots Cray High Street
Sidcup, Kent DA14 5HP, UK
Tel: +44 208 308 5700
Fax: +44 208 308 5702
E-mail: cservice@harcourt.com



ACADEMIC PRESS

A Harcourt Science and Technology Company

Find us on the web!

www.academicpress.com
www.harcourt-international.com
SECURE ORDERING ONLINE



SYSTÈME INTERNATIONAL D'INFORMATION NUCLÉAIRE (INIS)

TYPE DE BASE DE DONNÉES
Bibliographique

PRODUCTEUR

Agence internationale de l'énergie atomique en collaboration avec 103 Etats Membres de l'AIEA et 19 organismes internationaux

SERVICE COMPÉTENT

AIEA, Section INIS

B.P. 100

A-1400 Vienne (Autriche)

Téléphone: (43-1) 2600-22842

Télex: (43-1) 26007-29884

Mél.:

INIS.CentreServicesUnit@iaea.org
Renseignements complémentaires sur Internet:

<http://www.iaea.org/inis/inis.htm>
Pour s'abonner à la base de données INIS sur Internet, consulter l'adresse suivante:

<http://www.iaea.org/inis/inisdb.htm>
Disque de démonstration disponible gratuitement

PLUS DE 2 MILLIONS D'ENREGISTREMENTS CONSULTABLES EN LIGNE (DEPUIS 1970)

DOMAINE

Informations venant du monde entier sur les utilisations pacifiques de la science et de la technologie nucléaires ainsi que sur les incidences économiques et environnementales d'autres sources d'énergie.

SUJETS TRAITÉS

Les principaux sujets traités sont les réacteurs nucléaires, la sûreté des réacteurs, la fusion nucléaire, l'application des rayonnements ou des isotopes en médecine, en agriculture, dans l'industrie et dans la lutte contre les ravageurs ainsi que des domaines connexes tels que la chimie nucléaire, la physique nucléaire et la science des matériaux. L'accent est mis en particulier sur les effets environnementaux, économiques et sanitaires de l'énergie nucléaire ainsi que sur les incidences économiques et environnementales des sources d'énergie non nucléaires et sur les aspects juridiques et sociaux de l'énergie nucléaire.



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 +43-1-2600

Télex 1-12645

Téléfax +43-1-26007

Courrier électronique:

r.spiegelberg-planer@iaea.org

Renseignements

complémentaires sur Internet:
<http://www.iaea.org/programms/a2/>

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 coeur du réacteur et renseignements sur les systèmes de la centrale; énergie produite, arrêts prévus et imprévus, facteur de disponibilité et d'indisponibilité, facteur d'exploitation et facteur de charge.



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 plus de 20 autres centres de constantes nucléaires dans le monde

SERVICE COMPÉTENT

AIEA, Section des constantes nucléaires B.P. 100, A-1400 Vienne (Autriche)

Téléphone +43-1-2600

Télex 1-12645

Téléfax +43-1-26007

Courrier électronique:

o.schwerer@iaea.org

Renseignements complémentaires sur Internet:
<http://www.nds.iaea.org/>

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 disquette, cédérom et cartouche DAT 4mm.



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:

j.a.stephen@iaea.org

Renseignements complémentaires sur Internet:
<http://www.iaea.org/programs/ri/nds/amdisintro.htm>

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 aussi être fournie par le producteur sous forme imprimée, à titre onéreux. INIS et AGRIS sont également disponibles sur CD-ROM. Des renseignements sur l'ensemble des bases de données de l'AIEA peuvent être obtenus par le biais des services Internet de l'Agence sous WorldAtom à l'adresse suivante: <http://www.iaea.org>.



International Nuclear Information System

INIS Database on INTERNET

**To subscribe go to
<http://www.iaea.org/inis/inisdb.htm>**

• nuclear energy • nuclear power plants • nuclear reactors • nuclear fuel •
• radioactive waste • nuclear safety • nuclear law • safeguards •
• environmental and economic aspects of nuclear and
nonnuclear energy sources • nuclear
physics • nuclear fusion •
• treaties •

INIS Database

on Internet

• uranium •
• nuclear chemistry •
• corrosion • radiation chemistry •
• radioactive contamination • labelling •
• radionuclide transport and monitoring in land,
water and atmosphere • nuclear medicine • radiotherapy •

INIS

International Nuclear Information System

Access current and retrospective information through the INIS Database. For more than 28 years, the scientific, academic and industrial communities have used the INIS Database to retrieve references to literature on relevant nuclear science and technology subjects.

For more information about INIS please go to <http://www.iaea.org/inis/inis.htm>

It's your turn now!!!

**Subscribe to the INIS Database at:
<http://www.iaea.org/inis/inisdb.htm>**

LIEUX DE VENTE DES PUBLICATIONS DE L'AIEA

Dans les pays ci-après, les publications de l'AIEA sont en vente aux adresses indiquées ci-après ou par l'intermédiaire des principales librairies locales.

Le paiement peut être effectué en monnaie locale ou en coupons de l'UNESCO.

ALLEMAGNE

UNO-Verlag, Vertriebs- und Verlags GmbH
Poppelsdorfer Allee 55, D-53115 Bonn
Téléphone: +49 228 94 90 20
Facsimilé: +49 228 21 74 92
Web site: <http://www.uno-verlag.de>
Courrier électronique: unoverlag@aol.com

AUSTRALIE

Hunter Publications
58A Gipps Street, Collingwood, Victoria 3066
Téléphone: +61 3 9417 5361
Facsimilé: +61 3 9419 7154
Courrier électronique: jpdavies@ozemail.com.au

BELGIQUE

Jean de Lannoy
avenue du Roi 202, B-1190 Bruxelles
Téléphone: +32 2 538 43 08
Facsimilé: +32 2 538 08 41
Courrier électronique: jean.de.lannoy@infoboard.be
Web site: <http://www.jean-de-lannoy.be>

BRUNEI

voir Malaisie

CHINE

Publications de l'AIEA en chinois:
Nuclear Information Center, Translation Service
P.O. Box 2103, Beijing 100037

DANEMARK

Munksgaard Subscription Service,
Nørre Søgade 35, P.O. Box 2148
DK-1016 Copenhagen K
Téléphone: +45 33 12 85 70
Facsimilé: +45 33 12 93 87
Courrier électronique: subscription.service@mail.munksgaard.dk
Web site: <http://www.munksgaard.dk>

ESPAGNE

Díaz de Santos, Lagasca 95,
E-28006 Madrid
Téléphone: +34 1 431 24 82
Facsimilé: +34 1 575 55 63
Courrier électronique: madrid@diazdesantos.es
Díaz de Santos, Balmes 417-419
E-08022 Barcelone
Téléphone: +34 3 212 86 47
Facsimilé: +34 3 211 49 91
Courrier électronique: balmes@diazsantos.com
Courrier électronique: librerias@diazdesantos.es
Web site: <http://www.diazdesantos.es>

ETATS-UNIS D'AMÉRIQUE

Bernan Associates
4611-F Assembly Drive, Lanham MD 20706-4391, EE UU
Téléphone: 1-800-274-4447 (sans taxe)
Facsimilé: (301) 459-0056/
1-800-865-3450 (sans taxe)
Courrier électronique: query@bernan.com
Web site: <http://www.bernan.com>

FRANCE

Nucléon, Immeuble Platon, Parc les Algorithmes
F-91194 Gif-sur-Yvette, Cedex
Téléphone: +33 1 69 353636
Facsimilé: +33 1 69 350099
Courrier électronique: nucleon@wanadoo.fr

HONGRIE

Librotrade Ltd., Book Import
P.O. Box 126, H-1656 Budapest
Téléphone: +36 1 257 7777
Facsimilé: +36 1 257 7472
Courrier électronique: books@librotrade.hu

ISRAËL

YOZMOT Ltd.
3 Yohanan Hasandlar St.

P.O. Box 56055, IL-61560 Tel Aviv
Téléphone: +972 3 5284851
Facsimilé: +972 3 5285397

ITALIE

Libreria Scientifica Dott. Lucio di Biasio "AEIOU",
Via Coronelli 6, I-20146 Milan
Téléphone: +39 2 48 95 45 52 or 48 95 45 62
Facsimilé: +39 2 48 95 45 48

JAPON

Maruzen Company, Ltd.
P.O. Box 5050, 100-31 Tokyo International
Téléphone: +81 3 3272 7211
Facsimilé: +81 3 3278 1937
Courrier électronique: yabe@maruzen.co.jp
Web site: <http://www.maruzen.co.jp>

MALAISIE

Parry's Book Center Sdn. Bhd.
60 Jalan Negara, Taman Melawati, 53100 Kuala Lumpur
Téléphone: +60 3 4079176, 4079179, 4087235, 4087528
Facsimilé: +60 3 407 9180
Courrier électronique: haja@pop3.jaring.my
Web site: <http://www.mol.net.my/~parrybook/parrys.htm>

PAYS-BAS

Martinus Nijhoff International
P.O. Box 269, NL-2501 AX The Hague
Téléphone: +31 793 684 400;
Facsimilé: +31 793 615 698
Courrier électronique: info@nijhoff.nl
Web site: <http://www.nijhoff.nl>
Swets and Zeitlinger b.v.,
P.O. Box 830, NL-2160 SZ Lisse
Téléphone: +31 252 435 111;
Facsimilé: +31 252 415 888
Courrier électronique: info@swets.nl
Web site: <http://www.swets.nl>

POLOGNE

Foreign Trade Enterprise, Ars Polona, Book Import Dept.
7, Krakowskie Przedmieście Street
PL-00-950 Warsaw
Téléphone: +48 22 826 1201 ext. 147, 151, 159
Facsimilé: +48 22 826 6240
Courrier électronique: ars_pol@bevy.hsn.com.pl
Web site: <http://www.arspolona.com.pl>

ROYAUME-UNI

The Stationary Office Ltd, International Sales Agency
51 Nine Elms Lane, London SW8 5DR
Téléphone: +44 171 873 9090;
Facsimilé: +44 171 873 8463
Courrier électronique: Commands:book.orders@theso.co.uk
Renseignements: ipa.enquiries@theso.co.uk
Web site: <http://www.the-stationery-office.co.uk>

SINGAPOUR

Parry's Book Center Pte. Ltd.,
528 A MacPHERSON Road, Singapore 1336
Téléphone: +65 744 8673;
Facsimilé: +65 744 8676
Courrier électronique: haja@pop3.jaring.my
Web site: <http://www.mol.net.my/~parrybook/parrys.htm>

SLOVAQUIE

Alfa Press, s.r.o., Krizkova 9, SQ-811 04 Bratislava
Téléphone/Facsimilé: +421 7 566 0489

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, P.O. Box 100
A-1400 Vienne, Autriche
Téléphone: +43 1 2060 22529 (or 22530)
Facsimilé: +43 1 2060 29302
Courrier électronique: sales.publications@iaea.org
Web site: <http://www.iaea.org/worldatom/publications>

SAFETY REPORTS SERIES

IMPLEMENTATION AND REVIEW OF A
NUCLEAR POWER PLANT AGEING
MANAGEMENT PROGRAMME
Safety Report Series No. 15
ISBN 92-0-100999-2 Price: ATS200/€14.53

RADIATION PROTECTION AND SAFETY IN
INDUSTRIAL RADIOGRAPHY
Safety Report Series No. 13
ISBN 92-0-100199-1 Price: ATS1440

HEALTH SURVEILLANCE OF PERSONS
OCCUPATIONALLY EXPOSED TO IONIZING
RADIATION: GUIDANCE FOR OCCUPATIONAL
PHYSICIANS, Safety Reports Series No. 5
ISBN 92-0-103898-4 Price: ATS 200

DEVELOPING SAFETY CULTURE IN NUCLEAR
ACTIVITIES — Practical Suggestions to Assist
Progress, Safety Reports Series No. 11
ISBN 92-0-104398-8 Price: ATS 280

TECHNICAL REPORTS SERIES
VERIFICATION AND VALIDATION OF
SOFTWARE RELATED TO NUCLEAR POWER
PLANT INSTRUMENTATION AND CONTROL
Technical Report Series No. 384
ISBN 92-0-100799-X Price: ATS480/€34.88

NUCLEAR MEASUREMENTS, TECHNIQUES
AND INSTRUMENTATION
Technical Report Series No. 393
ISBN 92-0-100699-3 Price: ATS680

RADIOLOGICAL ASSESSMENT
REPORTS SERIES
RADIOLOGICAL CONDITIONS OF THE
WESTERN KARA SEA
ISBN 92-0-104298-1, Price: ATS 440

RADIOLOGICAL CONDITIONS THE
SEMIPALATINSK TEST SITE, KAZAKHSTAN:
PRELIMINARY ASSESSMENT AND
RECOMMENDATIONS FOR FURTHER STUDY
ISBN 92-0-104098-9, Price: ATS 200

THE RADIOLOGICAL ACCIDENT IN TAMMIKU
ISBN 92-0-100698-5 Price: ATS 280

MISCELLANEOUS

OPERATING EXPERIENCE WITH NUCLEAR
POWER STATIONS IN MEMBER STATES IN
1997
ISBN 92-0-104898-X, Price: ATS 2440

DIRECTORY OF NUCLEAR RESEARCH
REACTORS 1998
ISBN 92-0-104998-6, Price: ATS 2520

Tous les prix sont indiqués en ATS
(Schillings autrichiens). Pour tout
renseignement complémentaire
concernant les publications de l'AIEA
proposées à la vente, s'adresser à la
Division des publications de l'Agence
(mél.: sales.publications@iaea.org).
Une liste complète des publications de
l'Agence est disponible sur le site
Internet WorldAtom à l'adresse:
<http://www.iaea.org>

Look What's NEW for Safeguards/NDA Applications

from **ORTEC**[®]

The Very Latest . . .



AMSR 150 The latest LANL design of Advanced Multiplicity Shift Register. For attended and unattended operation. Backwards compatible with JSR-11/T2, available with INCC and MIC software codes. The future of Neutron Coincidence Counting.



DSPEC^{PLUS} The best . . . improved! Ethernet ready, Integrated Digital Gamma-Ray Spectrometer for HPGe detectors, highly automated, ultra-stable, and FASTER. You cannot do better in a gamma-ray spectrometer!

. . . CONNECTIONS Software in 32 Bits



MGA++ Latest version of LLNL MGA Isotopic Composition codes for Pu and U.



CZTU Analysis of U enrichment with CZT detector systems.



PC/FRAM V3.3 Latest LANL Isotopic Composition code for Pu, U, and Pu-U mixture analysis.



E-METER[™] The classic Enrichment Meter NaI(Tl) method IMPROVED: automated, self-adjusting, and stabilized.



ISOTOPIC For the analysis of fissile waste in badly-characterized matrices and geometries.



M-1 *In-situ* soil analysis: practical, rapid, and accurate.



A11-B32 Toolkit The key to efficient application development for ANY *CONNECTIONS*-supported hardware.

. . . and CONNECTIONS Hardware



DART[®] The definitive performance portable 8k MCA for HPGe detectors, highest throughput, best stability, **longer** battery life (8 hr) with Ge detectors, hot swap batteries, and 5.25 lbs.



LabMaster[™] Networkable Multi-Function Data Acquisition Card; 24 digital I/O lines, 21 counter/timers, 2 analog outputs, 7 analog inputs, and includes programmer's toolkit.



MatchMaker[™] The hardware link between *CONNECTIONS* applications and non-ORTEC ADC systems. Y2K support for those old Canberra, Nuclear Data, and Silena ADCs. Don't throw them out, recycle them!



MiniMCA-166 The diminutive portable 4k MCA, used extensively by IAEA and Euratom. 680 grams.

And Not Forgetting . . . Applications-tuned HPGe detectors of the highest performance and quality.

Call your ORTEC representative today, or check our web site www.ortec-online.com for the latest news!



ORTEC[®] HOTLINE 800-251-9750

Email: INFO_ortec@perkinelmer.com

Fax (865) 483-0396 • www.ortec-online.com

801 South Illinois Ave., Oak Ridge, TN 37830-0895 U.S.A. • (865) 482-4411

AUSTRIA
(01) 91422510

CANADA
(800) 268-2735

FRANCE
04.76.90.70.45

GERMANY
(07081) 1770

ITALY
(02) 27003636

JAPAN
(047) 3927888

RUSSIA
(095) 9374594

UK
(01189) 773003

PRC
(010) 65544525

LES PROJETS DE RECHERCHE COORDONNES DE L'AIEA

CONSERVATION ET APPLICATION DE LA TECHNOLOGIE DES RHTRG

Ce projet a pour objet de recenser les besoins en matière de recherche et d'échanger des informations sur les progrès technologiques accomplis dans un nombre limité de domaines techniques présentant un grand intérêt pour la conception de réacteurs à haute température (RHT) et d'établir, dans le cadre de ces domaines techniques, une fonction de coordination centralisée pour la conservation du savoir-faire lié aux réacteurs à haute température refroidis par gaz (RHTRG) et pour la collaboration internationale, utilisant des méthodes électroniques d'échange d'informations, d'acquisition de données et d'archivage.

VÉRIFICATION DE L'INTÉGRITÉ DES TUBES DE GÉNÉRATEUR DE VAPEUR DES RÉACTEURS REFOIDIS ET MODÉRÉS PAR EAU

Ce projet a pour objet de coordonner la recherche dans le domaine des essais non destructifs et destructifs, d'une part, et du calcul de mécanique de résistance et de rupture, d'autre part, menée sur les tubes d'échangeur de chaleur des générateurs de vapeur de réacteurs refroidis et modérés par eau. Il permettra de mieux comprendre les mécanismes d'endommagement et leur relation avec les paramètres d'exploitation, et d'établir des critères raisonnables de colmatage. L'amélioration de l'évaluation de l'intégrité des tubes aura un effet positif sur la sûreté et la disponibilité des centrales nucléaires équipées de réacteurs refroidis et modérés par eau.

MÉCANISME DE L'EFFET DE NICKELAGE DANS LA FRAGILISATION PAR IRRADIATION DES MATÉRIAUX DE LA CUVE SOUS PRESSION DES RÉACTEURS

Ce projet a globalement pour objectif de faciliter la procédure d'estimation de l'intégrité de la cuve sous pression des réacteurs et d'évaluation de la durée de vie de la cuve en déterminant le mécanisme de l'effet détériorant à haute teneur en nickel qui se produit dans la fragilisation par irradiation de certains aciers des cuves sous pression des réacteurs. À cette fin, il favorisera les études dans ce domaine et accumulera les données d'irradiation.

CODES ET MÉTHODES ACTUALISÉS VISANT À RÉDUIRE LES INCERTITUDES DE CALCUL DES EFFETS DE LA RÉACTIVITÉ DANS LES RRML

Ce projet a pour objet de mieux comprendre les problèmes scientifiques et techniques posés, sur les réacteurs, par différentes opérations (critiques et sous-critiques) d'incinération active et/ou de transmutation de transuraniens et de produits de fission à longue période. Les activités mises en œuvre dans le cadre de ce projet sont étroitement coordonnées avec celles entreprises par l'AEN de l'OCDE dans les domaines respectifs.

ACTUALISATION ET DÉVELOPPEMENT DES DONNÉES DE FIABILITÉ DE L'AIEA AUX FINS DES ÉTUDES PROBABILISTES DE SÛRETÉ DES RÉACTEURS DE RECHERCHE

Ce projet validera, vérifiera et améliorera les méthodes, instruments de calcul et données nucléaires utilisées pour l'analyse de la réactivité, en mode critique et sous-critique, de réacteurs rapides optimisés pour consommer du plutonium, et pour la transmutation d'actinides mineurs.

La liste ci-dessus est sélective et provisoire. Pour des renseignements complémentaires concernant les réunions, 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*, et consulter les services WorldAtom de l'AIEA sur Internet à l'adresse suivante: <http://www.iaea.org>. 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 électronucléaire.



COLLOQUES ET SEMINAIRES ORGANISÉS PAR L'AIEA

SEPTEMBRE/OCTOBRE

Colloque international sur les techniques radiologiques dans les nouvelles applications industrielles
4-8 septembre 2000, Beijing (Chine)

Colloque international sur le cycle de production d'uranium et l'environnement
2-6 octobre, Vienne (Autriche)

18^{ème} Conférence de l'AIEA sur l'énergie de fusion
4-10 octobre 2000, Sorrento (Italie)

Colloque international sur les techniques nucléaires dans la gestion intégrée des nutriments végétaux, de l'eau et des sols
16-20 octobre, Vienne (Autriche)

NOVEMBRE

Colloque international sur les techniques radiologiques dans les nouvelles applications industrielles
6-10 novembre, Beijing (Chine)

Séminaire sur l'application de systèmes visant à prévenir et à détecter les utilisations illicites de matières nucléaires et radioactives
13-17 novembre, Vienne (Autriche)

RÉUNIONS PRÉVUES EN 2001

AOÛT/SEPTEMBRE 2001

Colloque international sur les instruments isotopiques applicables à la surveillance de la situation nutritionnelle dans les programmes de nutrition et de développement
27-31 août, Vienne (Autriche)

OCTOBRE/NOVEMBRE 2001

Colloque sur les garanties internationales
Vienne (Autriche)

Conférence internationale sur des questions techniques liées à la sûreté nucléaire, à la sûreté radiologique et à la sûreté des déchets radioactifs

Informations sujettes à modifications. Voir encadré ci-contre.

AIEA BULLETIN

PUBLICATION TRIMESTRIELLE DE
L'AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE
Publication de la Division de l'information
Agence internationale de l'énergie atomique
B.P. 100, A-1400 Vienne (Autriche)
Tél: (43-1) 2600-21270 Télécopie: (43-1) 26007
Courrier électronique: official.mail@iaea.org
Internet: www.iaea.org

DIRECTEUR GENERAL: M. Mohamed ElBaradei
DIRECTEURS GÉNÉRAUX ADJOINTS:
M. David Waller, M. Pierre Goldschmidt,
M. Victor Mourovov, M. Sueo Machi,
M. Jihui Qian, M. Zygmund Domaratzki
**DIRECTEUR, DIVISION
DE L'INFORMATION:** M. David Kyd

REDACTEUR EN CHEF:
M. Lothar H. Wedekind
SECRÉTAIRES DE REDACTION:
Mlle. Ritu Kenn
MISE EN PAGE/CONCEPTION:
Mlle. Ritu Kenn; M. S. Brodek

RUBRIQUE ACTUALITÉS:
Mme A. Schiffmann, Mme R. Spiegelberg
PRODUCTION: M. P. Witzig, M. R. Kelleher,
M. D. Schroder, M. R. Breitenecker,
M. H. Baumgartner, Mme P. Murray, M. A. Adler,
M. R. Luttenfeldner, M. L. Nimetzki

SERVICES LINGUISTIQUES:
Division des Langues
ÉDITION FRANÇAISE: M. Yvon Prigent
traduction, contrôle rédactionnel
ÉDITION ESPAGNOLE: Equipo de Servicios de
Traductores e Intérpretes (ESTI), La Havane
(Cuba), traduction;
M. L. Herrero, contrôle rédactionnel
ÉDITION CHINOISE:
Service de traduction de la Société industrielle
de l'énergie nucléaire de Chine, Beijing,
traduction, impression, distribution
ÉDITION RUSSE: JSC Interdiakkt+, Moscou;
traduction, impression, distribution

PUBLICITÉ
Les annonceurs sont priés d'adresser leur
correspondance à la Division des publications
de l'AIEA, Unité de vente des publications
et de la publicité, B.P. 100, A-1400 Vienne
(Autriche). Les numéros de téléphone et
de télécopie ainsi que l'adresse de courrier
électronique sont marqués ci-dessus.

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* 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.

AIEA ÉTATS MEMBRES

1957 Afghanistan Afrique du Sud Albanie Allemagne Argentine Australie Autriche Bélarus Bésil Bulgarie Canada Corée, République de Cuba Danemark Égypte El Salvador Espagne Etats-Unis d'Amérique Éthiopie Fédération de Russie 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 1958 Belgique Cambodge Equateur Finlande Iran, Rép. islamique d' Luxembourg Mexique Philippines Soudan 1959 Iraq 1960 Chili Colombie Ghana Sénégal 1961 Liban Mali Zaire 1962 Arabie Saoudite Libéria 1963 Algérie Bolivie Côte d'Ivoire Jamahiriya Arabe Libyenne	République Arabe Syrienne Uruguay 1964 Cameroun Gabon Koweït Nigeria 1965 Chypre Costa Rica Jamaïque Kenya Madagascar 1966 Jordanie Panama 1967 Ouganda Sierra Leone Singapour 1968 Lichtenstein 1969 Malaisie Niger Zambie 1970 Irlande 1972 Bangladesh 1973 Mongolie 1974 Maurice 1976 Emirats Arabes Unis Qatar	République-Unie de Tanzanie 1977 Nicaragua 1984 Chine 1986 Zimbabwe 1992 Croatie Estonie Slovénie 1993 Arménie Lituanie République tchèque Slovaquie 1994 Iles Marshall Kazakhstan L'ex-République yougoslave de Macédoine Ouzbékistan Yémen 1995 Bosnie-Herzégovine 1996 Géorgie 1997 Lettonie Malte République de Moldova 1998 Benin Burkina Faso 1999 Angola Honduras
---	---	--	---

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 130 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 μ Sv	High sensitivity, photon
PDM-102	40 keV ~	1 ~ 9,999 μ Sv	General use, photon
PDM-173	40 keV ~	0.01 ~ 99.99 mSv	General use, photon
PDM-107	20 keV ~	1 ~ 9,999 μ 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