

L'ATOME POUR LA PAIX ET LE DÉVELOPPEMENT

Édition spéciale du Bulletin de l'AIEA sur les
utilisations pacifiques de la technologie nucléaire

Mars 2015 – www.iaea.org/bulletin

Santé



Alimentation et agriculture



Environnement



Eau



Énergie



Sûreté et sécurité nucléaires



Culture



IAEA

Agence internationale de l'énergie atomique

L'atome pour la paix



LE BULLETIN DE L'IAEA

est produit par

le Bureau de l'information et de la communication (OPIC)

Agence internationale de l'énergie atomique

B.P. 100, 1400 Vienne (Autriche)

Téléphone : (43-1) 2600-21270

Fax : (43-1) 2600-29610

iaeabulletin@iaea.org

Rédacteur : Miklos Gaspar

Rédactrice en chef : Aabha Dixit

Collaboratrice à la rédaction : Nicole Jawerth

Conception et production : Ritu Kenn

Le Bulletin de l'IAEA est disponible

› en ligne : www.iaea.org/bulletin

› comme application mobile :

www.iaea.org/bulletinapp

Des extraits des articles du Bulletin peuvent être utilisés librement à condition que la source soit mentionnée.

Lorsqu'il est indiqué que l'auteur n'est pas fonctionnaire de l'IAEA, l'autorisation de reproduction, sauf à des fins de recension, doit être sollicitée auprès de l'auteur ou de l'organisation d'origine.

Les opinions exprimées dans le Bulletin ne représentent pas nécessairement celles de l'Agence internationale de l'énergie atomique, et l'IAEA décline toute responsabilité à cet égard.

Couverture :

L'assistance fournie par l'IAEA permet de tirer parti des utilisations pacifiques des techniques nucléaires dans divers domaines, dont la santé humaine, l'alimentation et l'agriculture, l'environnement, l'eau, l'énergie, la sûreté et la sécurité nucléaires ainsi que la conservation d'artéfacts.

(Maquette : Ritu Kenn)

Découvrez cette édition sur iPad



L'Agence internationale de l'énergie atomique a pour mission de prévenir la dissémination des armes nucléaires et d'aider tous les pays – en particulier ceux du monde en développement – à tirer parti de l'utilisation pacifique, sûre et sécurisée de la science et de la technologie nucléaires.

Créée en tant qu'organisme autonome des Nations Unies en 1957, l'IAEA est la seule organisation du système de l'ONU à avoir les compétences requises dans le domaine des technologies nucléaires. Ses laboratoires spécialisés uniques aident au transfert de connaissances et de compétences à ses États Membres dans des domaines comme la santé humaine, l'alimentation, l'eau et l'environnement.

L'IAEA sert aussi de plateforme mondiale pour le renforcement de la sécurité nucléaire. Elle a mis en place la collection Sécurité nucléaire, qui rassemble des publications d'orientations sur la sécurité nucléaire faisant l'objet d'un consensus international. Ses travaux visent en outre à réduire le risque que des matières nucléaires et d'autres matières radioactives tombent entre les mains de terroristes, ou que des installations nucléaires soient la cible d'actes malveillants.

Les normes de sûreté de l'IAEA fournissent un système de principes fondamentaux de sûreté et sont l'expression d'un consensus international sur ce qui constitue un degré élevé de sûreté pour la protection des personnes et de l'environnement contre les effets néfastes des rayonnements ionisants. Elles ont été élaborées pour tous les types d'installations et d'activités nucléaires destinées à des fins pacifiques ainsi que pour les mesures de protection visant à réduire les risques radiologiques existants.

En outre, l'IAEA vérifie, au moyen de son système d'inspections, que les États Membres respectent leurs engagements, conformément au Traité sur la non-prolifération des armes nucléaires et à d'autres accords de non-prolifération, de n'utiliser les matières et installations nucléaires qu'à des fins pacifiques.

Le travail de l'IAEA est multiple et fait intervenir un large éventail de partenaires au niveau national, régional et international. Ses programmes et ses budgets sont établis sur la base des décisions de ses organes directeurs – le Conseil des gouverneurs, qui compte 35 membres, et la Conférence générale, qui réunit tous les États Membres.

L'IAEA a son siège au Centre international de Vienne. Elle a des bureaux locaux et des bureaux de liaison à Genève, New York, Tokyo et Toronto. Elle exploite des laboratoires scientifiques à Monaco, Seibersdorf et Vienne. En outre, elle apporte son appui et contribue financièrement au fonctionnement du Centre international Abdus Salam de physique théorique à Trieste (Italie).

L'atome pour la paix et le développement : contribuer au progrès mondial grâce à la science et à la technologie nucléaires

Par Yukiya Amano, Directeur général de l'AIEA

La culture de variétés nouvelles, la réduction de l'érosion des sols et l'assistance fournie aux pays africains pour lutter contre la maladie à virus Ebola ne sont que quelques-uns des domaines dans lesquels l'AIEA aide les États Membres à tirer parti de la technologie nucléaire. Aider les pays à utiliser les techniques nucléaires de manière sûre et sécurisée aux fins de leur développement est tout aussi important pour l'AIEA que son action en matière de non-prolifération. Pour beaucoup de pays en développement, c'est ce que nous faisons de plus important.

Notre mandat a été résumé par la formule L'atome pour la paix. Je considère qu'aujourd'hui, la formule L'atome pour la paix et le développement en donnerait une meilleure idée.

Cette année marque une étape importante dans le développement mondial alors que la communauté internationale fait le bilan des progrès accomplis dans la réalisation des objectifs du Millénaire pour le développement et la finalisation des objectifs de développement durable pour l'après-2015. Les dirigeants mondiaux ont préconisé un agenda post-2015 ambitieux offrant un plan à long terme pour améliorer la vie des gens et protéger la planète en faveur des générations futures.

La science et la technologie sont cruciales pour le développement. Il faut en reconnaître l'importance comme catalyseur de l'agenda de développement post-2015. La science et la technologie nucléaires, en particulier, ont une contribution énorme à apporter. L'AIEA joue un rôle sans égal en mettant la science et la technologie nucléaires à disposition pour améliorer partout la vie des gens. Je me suis employé très activement à faire mieux reconnaître le rôle important que joue l'AIEA dans ce domaine.

Un des aspects les plus satisfaisants de mon travail comme Directeur général de l'AIEA est que je rencontre des gens dont la vie a été améliorée grâce à nos activités. Dans le présent bulletin, nous illustrons l'impact de l'action de l'AIEA à l'aide de 16 exemples couvrant tout l'éventail de nos activités.

Vous y lirez à propos de l'agriculteur mauricien qui peut maintenant pratiquer des cultures de rapport de haute qualité, du vacher sénégalais dont les bêtes n'ont jamais été en aussi

bonne santé, du responsable guatémaltèque de la santé publique qui peut désormais diagnostiquer la malnutrition et recommander un traitement pour les enfants à un stade précoce et du prêtre roumain qui a sauvé la belle iconostase de son église de la destruction par les insectes. Tout cela a été rendu possible par l'application de la science et de la technologie nucléaires à des problèmes quotidiens.

L'AIEA apporte en outre un soutien à des activités liées à des programmes électronucléaires. Nous aidons les États Membres qui envisagent d'incorporer l'électronucléaire dans leur bouquet énergétique afin qu'ils puissent y recourir de manière efficace, sûre et sécurisée.

Notre action dans ce domaine est illustrée par les articles sur l'extraction durable d'uranium en Tanzanie, le développement de l'infrastructure électronucléaire en Turquie, la manutention des déchets radioactifs dans des conditions de sûreté au Maroc et le renforcement de la sécurité nucléaire grâce à la conversion d'un réacteur de recherche au Kazakhstan.

Le nombre des membres de l'AIEA continue à croître et la demande pour nos services dans tous les domaines des sciences et des applications nucléaires augmente régulièrement. L'Initiative de l'AIEA sur les utilisations pacifiques a constitué un mécanisme efficace de mobilisation de ressources supplémentaires en faveur de l'AIEA pour répondre à cette demande croissante. J'espère pouvoir poursuivre cette précieuse initiative à l'avenir.

Je ne doute pas que vous constaterez que le présent bulletin donne un aperçu des plus intéressants sur les activités très spéciales de cette organisation sans pareille.



« Notre mandat a été résumé par la formule L'atome pour la paix. Je considère qu'aujourd'hui, la formule L'atome pour la paix et le développement en donnerait une meilleure idée. »

— Yukiya Amano,
Directeur général de l'AIEA



Santé



6 Soigner le cancer plus près de chez soi : la Mauritanie ouvre son premier centre de médecine nucléaire



8 Se nourrir mieux : le Guatemala s'emploie à maîtriser le double fardeau de la malnutrition



10 L'Afrique du Sud contrôle mieux l'allaitement exclusif au sein grâce à une technique nucléaire



12 Assurer la qualité tout en produisant localement : l'AIEA aide Cuba à produire des radiopharmaceutiques

Alimentation et agriculture



14 En terrain stable : lutte contre l'érosion des sols à l'aide des techniques nucléaires au Viet Nam



16 Éradication des mouches tsé-tsé : le Sénégal est proche de sa première victoire



18 Semer les graines du changement : l'amélioration des plantes par mutation aide le Bangladesh à nourrir sa population en expansion

Environnement



20 Respirer plus aisément : l'Indonésie s'emploie à rendre l'air plus pur



22 À la pêche aux réponses : le Sri Lanka prouve qu'il n'y a pas de problème de radioactivité dans ses eaux côtières

Eau



24 Une récolte abondante avec chaque goutte : accroître les rendements et conserver l'eau avec l'irrigation au goutte-à-goutte



26 Hors de leur vue, mais dans leur esprit : le Brésil s'emploie avec ses voisins à protéger un des plus grands réservoirs d'eaux souterraines de la planète

Énergie



28 Les mesures de protection de l'eau et la participation de la communauté accroissent la durabilité de l'extraction d'uranium en Tanzanie



30 Vers une énergie sûre et sécurisée en Turquie

Sûreté et sécurité nucléaires



32 Mieux vaut prévenir que guérir : accroissement de la sûreté dans la gestion des déchets radioactifs



34 Rendre le monde plus sûr, un réacteur de recherche à la fois

Culture



36 Protection du patrimoine culturel de la Roumanie à l'aide de la technologie nucléaire

1 L'atome pour la paix et le développement : contribuer au progrès mondial grâce à la science et à la technologie nucléaires

4 Paix et développement grâce aux utilisations pacifiques de la science et de la technologie nucléaires

38 Initiative sur les utilisations pacifiques – aperçu de projets en cours et futurs

Paix et développement grâce aux utilisations pacifiques de la science et de la technologie nucléaires

La science et la technologie nucléaires peuvent aider à trouver des solutions à bien des problèmes auxquels les gens sont confrontés quotidiennement dans le monde entier. Utilisées dans des conditions de sûreté et de sécurité, la science et la technologie nucléaires complètent ou remplacent efficacement les approches classiques, en sorte qu'elles occupent une place importante dans l'action de la communauté internationale en faveur du développement. L'AIEA contribue aux objectifs mondiaux en servant les buts internationaux de la paix, de la santé et de la prospérité à travers la fourniture d'une aide aux pays pour l'adoption d'outils nucléaires aux fins d'un large éventail d'applications pacifiques.

Dans le contexte des tendances mondiales et du développement, les services de l'AIEA – dont certains retiennent beaucoup l'attention sur la scène mondiale, tandis que d'autres sont fournis plus discrètement – étayent les efforts collectifs en faveur d'une utilisation sûre, sécurisée et pacifique de la science et de la technologie nucléaires. Ils sont appuyés par les laboratoires spécialisés de l'AIEA installés à Seibersdorf, en Autriche, et à Monaco, et par des programmes spécifiques, des réseaux et des collaborations avec des partenaires. L'assistance fournie par l'AIEA permet de tirer parti des techniques nucléaires dans divers domaines, dont la santé humaine, l'alimentation et l'agriculture, l'environnement, l'eau, l'énergie, la sûreté et la sécurité nucléaires ainsi que la conservation d'artéfacts.

Santé humaine

La santé joue un rôle crucial dans la vie des gens et la réalisation du développement durable. Pour les familles à faible revenu, un mauvais état de santé peut renforcer les cycles de pauvreté. Afin d'accroître l'accès aux soins de santé, l'AIEA et ses laboratoires spécialisés soutiennent ses États Membres, en particulier ceux à revenu faible et intermédiaire, en leur fournissant une assistance sous la forme d'équipements, de conseils d'experts, de formations et d'un échange de connaissances pour aider à utiliser les techniques nucléaires aux fins du diagnostic, du traitement et de la prise en charge du cancer, des maladies cardiovasculaires et d'autres maladies non transmissibles. Dans le cadre de ces activités, on veille aussi à ce que les sources radioactives, comme celles qui sont utilisées dans les appareils de radiothérapie et pour la stérilisation d'instruments médicaux, soient utilisées et gérées de manière sûre et sécurisée et à ce que les radiopharmaceutiques – médicaments contenant des substances radioactives – qui sont employés en médecine nucléaire et en radiothérapie soient produits, mis à disposition et utilisés dans des conditions de sûreté et de sécurité.

Pour être en bonne santé, il faut aussi se nourrir convenablement et avoir suffisamment accès à la nourriture. On peut recourir aux techniques nucléaires pour contrôler la malnutrition – depuis la sous-alimentation sévère jusqu'à l'obésité – et y remédier durablement et pour mettre en œuvre des programmes d'allaitement maternel afin d'améliorer la nutrition et la santé dès les premiers jours de la vie. L'AIEA aide de nombreux pays en fournissant les formations et les équipements nécessaires pour exécuter ces projets liés à la nutrition.

Alimentation et agriculture

Un certain nombre de pays, en particulier ceux qui sont fortement tributaires de l'agriculture pour l'alimentation et la subsistance, se tournent vers les techniques nucléaires pour accroître la productivité agricole, la sécurité alimentaire et la sécurité sanitaire des aliments. Les projets et les programmes de l'AIEA aident à fournir des équipements et des conseils d'experts importants ainsi que des technologies et des formations par l'intermédiaire de ses laboratoires spécialisés et d'organisations partenaires comme l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). Avec leur soutien, les techniques nucléaires peuvent être utilisées par les pays de manière sûre et appropriée dans des domaines comme l'obtention de cultures et de variétés améliorées, et notamment de variétés enrichies en vitamines ou en minéraux, la lutte contre les ravageurs et les maladies des animaux et des plantes, l'amélioration de la sécurité sanitaire des aliments, l'amélioration de la reproduction et de la nutrition du bétail, et le renforcement de la gestion des sols et de l'eau.

Environnement

La production alimentaire et le développement agricole pâtissent souvent de conditions environnementales défavorables. Cela peut poser de graves problèmes à beaucoup de pays, en particulier ceux à revenu faible et intermédiaire dont l'économie est tributaire de l'agriculture. Avec le soutien de l'AIEA, de nombreux pays recourent à des outils nucléaires et isotopiques pour étudier des questions liées à l'environnement et s'y attaquer. Ils peuvent évaluer les incidences de l'évolution des conditions environnementales dues à des causes naturelles ou anthropiques, surveiller la pollution et son évolution et gérer ses impacts.

Eau

Un accès à des sources d'eau salubre est essentiel pour subvenir aux besoins de populations croissantes, accélérer le développement économique et répondre aux exigences découlant de l'évolution des modes de vie. La qualité de

l'eau des océans ne se répercute pas seulement sur la faune et la flore marines, mais a aussi des incidences pour ceux qui vivent de la mer. De nombreux pays se sont maintenant tournés vers l'AIEA afin qu'elle les aide à utiliser les techniques nucléaires et isotopiques pour mieux comprendre l'eau en vue de la gérer de manière durable et de la protéger pour l'avenir.

Énergie nucléaire

Face au changement climatique et à l'accroissement de la demande d'électricité, certains pays étudient maintenant la possibilité ou prévoient d'inclure l'électronucléaire dans leur bouquet énergétique. Ils font appel à l'AIEA pour qu'elle les aide à le faire de manière sûre, sécurisée, économique et durable, et ce conformément aux normes internationalement reconnues de sûreté et de sécurité, aux meilleures pratiques et aux obligations juridiques pertinentes, notamment en matière de non-prolifération nucléaire.

Sûreté et sécurité nucléaires

L'assistance fournie par l'AIEA facilite par ailleurs le transport, la manutention et l'utilisation dans des conditions de sûreté et de sécurité des matières radioactives dans les technologies du cycle du combustible et des sources radioactives pour la production d'énergie et d'autres applications des rayonnements. Cet appui facilite également une extraction appropriée et durable des éléments chimiques

essentiels pour la production d'énergie nucléaire, ainsi qu'une gestion et un déclassement efficaces des installations nucléaires, des déchets radioactifs et du combustible utilisé du berceau à la tombe.

Tout projet, programme et service de l'AIEA comporte un volet sûreté et sécurité, qui est mis en œuvre conformément aux normes internationales en la matière. L'AIEA apporte aux États Membres l'assistance dont ils ont besoin quand ils entreprennent d'utiliser la science et la technologie nucléaires en fournissant des services d'examen et en facilitant l'octroi d'une formation spécialisée sur mesure et les exercices de préparation aux situations d'urgence. Faire en sorte que ces utilisations restent pacifiques et soient gérées comme il convient de manière à protéger les personnes et l'environnement tout en tirant pleinement parti des avantages qu'offrent ces outils constitue un aspect fondamental des services que l'AIEA met à la disposition des États Membres.

Qu'est-ce que l'Initiative sur les utilisations pacifiques ?

L'Initiative de l'AIEA sur les utilisations pacifiques, lancée en 2010, joue désormais un rôle essentiel dans la mobilisation, en complément du Fonds de coopération technique, de contributions extrabudgétaires destinées à des projets de coopération technique et d'autres projets non financés de l'AIEA dans le domaine des applications pacifiques de la technologie nucléaire. Les ressources supplémentaires fournies dans le cadre de cette initiative ont permis à l'AIEA d'être mieux à même de faire face à ses priorités et à ses responsabilités statutaires et de répondre aux besoins des États Membres. Les contributions extrabudgétaires ainsi obtenues ont servi à financer un large éventail d'activités de l'AIEA destinées à favoriser la réalisation des grands objectifs de développement des États Membres, par exemple dans les domaines de la sécurité alimentaire, de la gestion des ressources en eau,

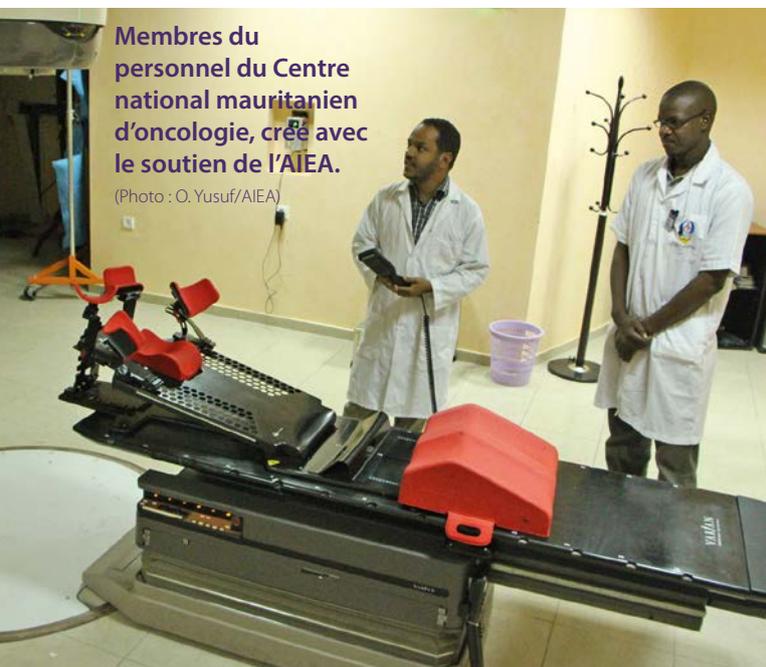
de la santé humaine, du développement de l'infrastructure électronucléaire et de la sûreté nucléaire, activités dont beaucoup n'auraient pas pu être financées autrement.

Cette initiative a en outre permis à l'AIEA de réagir de manière plus souple et plus rapide à l'évolution des priorités des États Membres, ainsi qu'à des besoins inattendus et à des urgences imprévues, ainsi qu'il a été démontré à la suite de l'accident de Fukushima Daiichi et de l'épidémie à virus Ebola dans des États d'Afrique de l'Ouest. À ce jour, elle a aidé à mobiliser plus de 60 millions d'euros de contributions auprès de 13 États Membres et de la Commission européenne à l'appui de plus de 170 projets dont bénéficient plus de 130 États Membres.

Soigner le cancer plus près de chez soi : la Mauritanie ouvre son premier centre de médecine nucléaire

Par Omar Yusuf

L'ouverture du tout premier centre de médecine nucléaire de la République islamique de Mauritanie avec le soutien de l'AIEA à la fin de 2014 améliorera l'accès à des moyens modernes de diagnostic et de traitement tout en réduisant les coûts. Cette nouvelle unité fait partie du Centre national d'oncologie du pays, ouvert en 2010 avec le soutien de l'AIEA. Les deux centres offrent des services très complets de diagnostic, de traitement et de prise en charge du cancer et d'autres maladies en Mauritanie et dans la région environnante.



Membres du personnel du Centre national mauritanien d'oncologie, créé avec le soutien de l'AIEA.

(Photo : O. Yusuf/AIEA)

Le pays a fait beaucoup de chemin en quelques années à peine dans le traitement du cancer, a déclaré Moustapha Mounah, Directeur du Centre national d'oncologie. « Nous étions confrontés à d'énormes défis. Nous n'avions pas d'infrastructure, pas d'équipements et pas de ressources humaines pour traiter nos patients », a-t-il dit. « Maintenant, en l'espace de quatre ans, la Mauritanie est devenue en mesure de fournir des services de radiothérapie et de médecine nucléaire à l'aide d'équipements très perfectionnés et exploités par des Mauritaniens. »

Cette proximité a facilité la vie des patients

« Avant notre collaboration avec l'AIEA, nous n'avions pas de technicien en radiopharmacie et nous envoyions tous nos patients atteints d'un cancer au Maroc, en Tunisie ou ailleurs. Désormais,

nous traitons presque tous nos patients localement », a déclaré Abdoulaye Mamadou Wagne, technicien en radiothérapie au Centre national d'oncologie.

La médecine nucléaire et la radiothérapie sont deux disciplines médicales fondamentales faisant appel à des rayonnements et à des atomes qui en émettent, appelés radionucléides, pour diagnostiquer, traiter et prendre en charge des maladies (voir encadré).

Lutter de front contre le cancer

Le cancer tue chaque année plus de 7,6 millions de gens – soit plus que le VIH/sida, la tuberculose et le paludisme réunis. Il est de plus en plus reconnu comme un problème de santé publique majeur dans toute l'Afrique. Le fardeau de la maladie s'est alourdi avec l'élévation du niveau de vie, qui a entraîné des modifications des modes de vie et de l'environnement, tels que régimes alimentaires malsains, pollution et manque d'activité physique, lesquels accroissent l'incidence du cancer.

Pendant de nombreuses années, la Mauritanie, un des 34 pays d'Afrique comptant parmi les moins avancés, a lutté pour faire face aux coûts financiers et humains liés au cancer. Les cancers hématologiques et les tumeurs solides exigent par exemple des traitements spécialisés qui n'étaient pas assurés dans les hôpitaux mauritaniens, en sorte que les patients devaient aller se faire soigner à l'étranger. Les cancers du col de l'utérus, du sein, de la prostate, du foie et des ovaires sont parmi les plus répandus dans le pays.

Aujourd'hui, les deux centres fournissent des services de radiothérapie et de médecine nucléaire à l'aide d'un accélérateur linéaire de particules et d'un appareil de curiathérapie haut débit de dose. Ils emploient par ailleurs plus de 20 professionnels de la santé formés dans le cadre de bourses, de cours et de visites d'experts de l'AIEA.

« Nous sommes très enthousiasmés par cette relation [avec l'AIEA], qui a commencé à donner des résultats très positifs en très peu de temps », a déclaré Mohamed Ould Abdel Aziz, Président de la Mauritanie, lors de l'inauguration du nouveau centre en décembre 2014. « Pour ce qui est du traitement du cancer, nous sommes désormais dans une position assez confortable. »



Le Centre national d'oncologie prévoit maintenant de partager son nouveau savoir-faire avec les pays voisins afin que le diagnostic et le traitement du cancer puissent s'améliorer dans toute la région du Sahel. « Nous prévoyons de faire de notre service un centre de référence et de formation pour la région », a dit Mounah. « Nous devenons un centre aux activités étendues et exceptionnellement bien équipé. »

Soutenir la transformation par la coopération

L'AIEA apporte un soutien à la Mauritanie depuis 2004 dans le cadre de son programme de coopération technique en aidant le gouvernement à transformer le pays en une nation capable d'utiliser les techniques nucléaires de manière sûre et rentable. La Mauritanie recourt maintenant aux technologies et outils nucléaires pour lutter contre les ravageurs et les maladies animales, pour cartographier les nappes phréatiques

souterraines et pour contrôler et mesurer les niveaux de doses de rayonnement afin de protéger le personnel de santé, le public et l'environnement contre les rayonnements ionisants. Elle forme en outre des ingénieurs et des économistes à l'utilisation des outils de planification énergétique et des bases de données relatives à l'énergie nucléaire.

La Mauritanie a encore beaucoup à faire, mais elle a progressé à grands pas en quelques années en donnant aux patients accès à de meilleurs soins plus près de chez eux, ce qui aidera incontestablement à lutter contre le cancer a déclaré le Président Abdel Aziz. « Nous pensons qu'à l'avenir, cette relation importante pour notre pays, qui offre un modèle pour la sous-région, continuera à évoluer. Eu égard à ces développements, nous sommes fortement convaincus que les choses continueront à s'améliorer », a-t-il dit.

LA SCIENCE

Médecine nucléaire et radiothérapie

Le cancer, autrefois considéré comme inguérissable et létal, peut maintenant être diagnostiqué plus tôt et traité plus efficacement à l'aide des techniques nucléaires en donnant aux patients une chance réelle et, pour beaucoup d'entre eux, une chance importante d'en guérir.

La médecine nucléaire fait appel à des quantités minimes de substances radioactives appelées radio-isotopes pour le diagnostic et le traitement de certaines affections. Certains des actes sont pratiqués hors de l'organisme, alors que pour d'autres, effectués à l'aide de radio-isotopes contenus dans des radiopharmaceutiques, ceux-ci sont absorbés par le patient en produisant un effet bénéfique net. Les faibles quantités de rayonnements émises par les radio-isotopes des radiopharmaceutiques peuvent être détectées par des caméras spéciales qui fournissent des images des tissus ou des organes étudiés. Certaines techniques d'imagerie diagnostique, comme les rayons X, fournissent des images statiques de différentes parties du corps, tandis que d'autres, comme la tomographie à émission de positons, peuvent mettre en évidence la dynamique du fonctionnement d'organes.

La radiothérapie fait appel à des faisceaux ou à des sources de rayonnements pour cibler et détruire les cellules cancéreuses. Appliquée à une prolifération cancéreuse ou à une tumeur maligne, elle en réduit la taille et, dans certains cas, la fait disparaître complètement. Les radiopharmaceutiques peuvent aussi être utilisés à des niveaux de dose élevés pour la traiter. Un étalonnage rigoureux de ces différentes techniques thérapeutiques aide à cibler les cellules cancéreuses tout en réduisant au minimum la radio-exposition de celles qui sont saines.



Une gamma-caméra détecte et suit les radiopharmaceutiques pour fournir des images diagnostiques. (Photo : E. Estrada Lobato/AIEA)

Se nourrir mieux : le Guatemala s'emploie à maîtriser le double fardeau de la malnutrition

Par Aabha Dixit

En se servant de techniques nucléaires, les chercheurs et les agents sanitaires guatémaltèques sont désormais en mesure de déterminer les causes et les conséquences de la malnutrition chez les enfants dans le pays, ce qui permet aux responsables de concevoir des stratégies pour lutter contre l'obésité et le retard de croissance.

Le pays a un des taux de malnutrition chronique les plus élevés au monde, et une des premières priorités du gouvernement est de remédier à cela, a déclaré l'ancienne Ministre du développement social, Lucy Lainfiesta.

« Le gouvernement guatémaltèque se propose d'axer la lutte contre la malnutrition chronique sur la période propice constituée par les 1 000 premiers jours de la vie, au moyen d'interventions qui assureront à la mère et à l'enfant ce dont ils ont besoin pour être bien nourris », a-t-elle déclaré.



Un agent local expose les avantages d'une bonne alimentation dans une école primaire urbaine au Guatemala.

(Photo : CIIPEC)

Les projets faisant appel à la technologie des isotopes pour évaluer l'état nutritionnel « commencent à influencer de manière positive et notable sur nos programmes de nutrition », a dit Manuel Ramirez, Coordonnateur du Centre de recherche pour la prévention des maladies chroniques de l'Institut de nutrition de l'Amérique centrale et du Panama (INCAP). « La science et la technologie nucléaires nous ont donné les outils voulus pour comprendre la composition corporelle et l'associer aux changements physiologiques qui conduisent à la maladie plus tard dans la vie. »

La mesure de l'eau corporelle totale des enfants à l'aide de traceurs isotopiques aide à déterminer leur composition corporelle et le pourcentage de graisse dans leur organisme, ce qui, à son tour, permet aux spécialistes de prescrire le régime alimentaire approprié (voir encadré).

L'appui fourni par l'AIEA a aidé le Guatemala et d'autres États Membres à obtenir les informations et les données nécessaires pour concevoir et améliorer leurs programmes de nutrition. Ces programmes prévoient notamment un accroissement de la consommation de vitamines et de minéraux grâce un enrichissement des produits alimentaires ou à une supplémentation en micronutriments, en complément de campagnes en faveur d'une alimentation saine et d'une activité physique accrue.

Moins de tortillas, plus de carottes

Le manque de protéines et de micronutriments dans les régimes alimentaires, composés principalement d'aliments à forte teneur en glucides, est une des principales causes de malnutrition au Guatemala, selon Ramirez. Les agents sanitaires ont noté que dans les zones rurales, les enfants âgés de six mois à trois ans mangent régulièrement des tortillas de maïs adoucies avec des boissons caféinées. Une telle alimentation n'est pas bonne pour les nourrissons et les jeunes enfants, qui devraient être nourris plus sainement avec des produits locaux, par exemple des œufs, des avocats, des bananes, des légumes légèrement cuits, des haricots, du riz et du gruau d'avoine. Des régimes alimentaires médiocres dans la première enfance peuvent conduire à l'obésité plus tard dans la vie. À l'aide de techniques nucléaires, les scientifiques sont en mesure de déceler la quantité de protéines absorbée par l'organisme et de recommander des régimes alimentaires en conséquence en tenant compte des ingrédients disponibles localement, a expliqué Christine Slater, chef par intérim de la Section de la nutrition à l'AIEA.

Si l'obésité est le principal problème de santé chez les enfants des villes, dans les zones rurales la population autochtone souffre le plus souvent du problème opposé. Près de huit enfants autochtones sur dix accusent un retard de croissance, contre seulement quatre sur dix enfants non autochtones, a indiqué Ramirez. Les résultats les plus récents de la recherche ont montré que, contrairement à une croyance populaire, la petite taille des autochtones guatémaltèques n'est pas d'origine génétique. Elle est due à des pratiques alimentaires inappropriées et à un régime inadéquat dans les premières années de l'existence, a-t-il dit.

Le retard de croissance est un facteur de pauvreté majeur, a déclaré Ramirez. Les enfants souffrant d'un retard de croissance

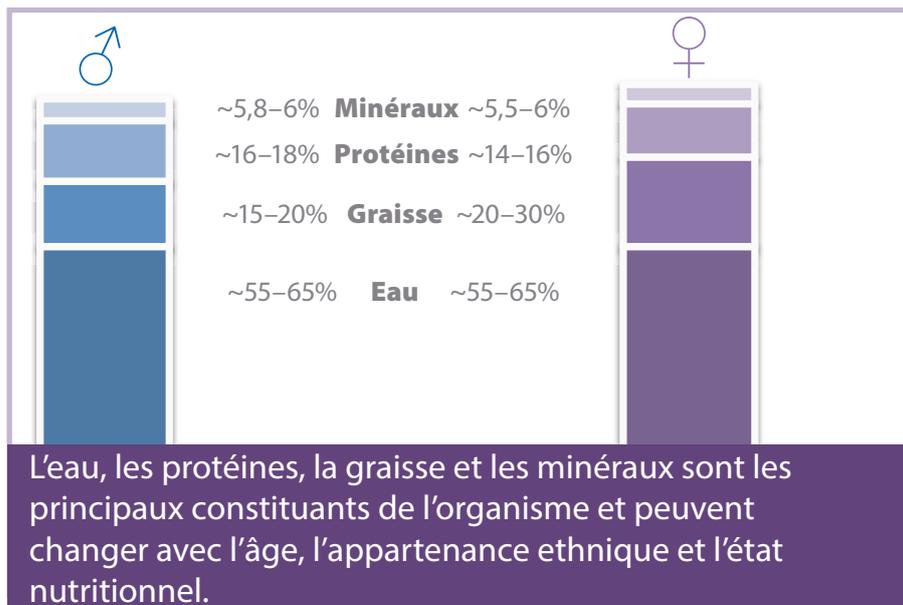


ont des difficultés d'apprentissage qui les empêchent de bien gagner leur vie plus tard. Il faut faire d'urgence le nécessaire pour que des régimes alimentaires nutritifs et variés soient disponibles et accessibles.

Il faut apporter des ajustements aux régimes alimentaires de tous les enfants souffrant d'un retard de croissance, et les techniques nucléaires peuvent aider à déterminer comment il convient de les modifier, a dit Slater. « On se rend compte de plus en plus qu'il ne suffit pas de mesurer et de peser les enfants », a-t-elle expliqué. « Nous devons comprendre la composition corporelle pour déterminer ce qu'est une croissance en santé. »

Les enfants souffrant d'obésité ou de retard de croissance ou des deux à la fois ont généralement des modes de vie moins sains et connaissent davantage de problèmes de santé plus tard dans la vie, a dit Ramirez. « Ces enfants marchent moins, absorbent moins d'oxygène et ont une mauvaise circulation sanguine », a-t-il indiqué.

Une équipe spéciale a été constituée en juin 2014 avec l'aval de huit ministres de la santé d'Amérique centrale pour élaborer, grâce aux informations et aux données recueillies dans le cadre de projets de l'AIEA, une politique régionale de prévention et de prise en charge de l'obésité chez les enfants et les adolescents.



Source : www.jawon.com



Évaluation de l'acceptabilité des ingrédients de recettes saines pour des enfants d'âge scolaire.

(Photo : INCAP/CIPEC)

LA SCIENCE

Utilisation d'isotopes pour mesurer la composition corporelle

On peut utiliser des isotopes stables pour mesurer la quantité d'eau et de nutriments dans l'organisme et celle de nutriments ingérés que l'organisme d'une personne absorbe. On peut aussi s'en servir pour mesurer le taux d'absorption, d'utilisation ou de synthèse des protéines, des graisses ou des glucides. Les isotopes stables n'étant pas radioactifs, leur emploi ne présente pas de danger radiologique.

Les composés marqués par des isotopes stables sont absorbés et se comportent dans l'organisme de la même manière que leurs homologues non marqués, mais ils possèdent une masse moléculaire différente, ce qui permet de les suivre. Par exemple, pour mesurer le pourcentage

d'eau et de graisse dans le corps, on fait boire à une personne une eau spéciale riche en deutérium, isotope stable de l'hydrogène. Les isotopes d'un élément ont le même nombre de protons, mais un ou plusieurs neutrons supplémentaires qui leur confèrent une masse moléculaire supérieure.

Quelques heures après que cette personne a bu une petite quantité soigneusement dosée d'eau contenant du deutérium (D_2O), ce dernier est réparti uniformément dans l'eau corporelle. On peut alors prélever un échantillon de celle-ci sous forme de salive ou d'urine et mesurer la quantité de deutérium. Connaissant la quantité d'eau marquée qu'ils ont administrée au patient

et ayant mesuré ensuite la quantité et la proportion de molécules marquées dans l'eau corporelle, les techniciens peuvent calculer combien d'eau contient le corps.

Ils peuvent en déduire la quantité de tissu maigre, non gras, vu que l'eau représente 73 % du poids du tissu maigre. La différence entre le poids corporel et la quantité de tissu maigre est la quantité de graisse. Suivant la façon dont la teneur en graisse du corps s'écarte de la norme, ils peuvent prescrire un régime alimentaire approprié ou donner des conseils en matière d'activité physique.

L'Afrique du Sud contrôle mieux l'allaitement exclusif au sein grâce à une technique nucléaire

Par Sasha Henriques

En Afrique du Sud, les bébés qui, autrefois, auraient été exposés à un risque élevé de malnutrition, de maladie, voire de décès, ont maintenant un avenir meilleur, car les techniques nucléaires aident les mères à montrer plus d'empressement à les allaiter exclusivement au sein pendant leurs six premiers mois.

Les enfants nourris au sein sont plus résistants aux maladies et aux infections que les enfants allaités artificiellement, souligne l'Organisation mondiale de la Santé, qui recommande de ne faire boire aux bébés que du lait maternel entre la naissance et l'âge de six mois. Les recherches indiquent que les bébés nourris au sein risquent moins de contracter le diabète, une maladie cardiovasculaire ou un cancer plus tard dans la vie.



Mères à la clinique Cato Manor de Durban.

(Photo : H. Mulol)

« L'Afrique du Sud a des taux très médiocres d'allaitement exclusif au sein, et l'amélioration des pratiques d'allaitement en vue d'inverser les taux déplorables de mortalité infantile dans notre pays est devenue une priorité urgente », a déclaré Anna Coutsooudis, professeur au Département de pédiatrie et de santé infantile de l'Université du KwaZulu-Natal en Afrique du Sud.

Les praticiens de santé, en particulier dans les pays en développement, ont promu cette idée dans les dispensaires, les centres de soins et les maternités en vue de prévenir la malnutrition, la maladie et même le décès de nourrissons.

Les responsables sud-africains de la santé publique pensaient que leurs efforts avaient été fructueux, car les études – qui s'appuyaient sur les indications des mères elles-mêmes concernant la fréquence des allaitements au sein – faisaient

apparaître une augmentation de leur nombre. Or, le taux de mortalité infantile n'avait pas diminué dans la même proportion.

En 2013, il y a eu environ 1,1 million de naissances en Afrique du Sud et 33 bébés sur 1000 nés vivants sont décédés dans l'année qui a suivi, selon les statistiques officielles du pays.

Il y avait quelque chose d'anormal.

Détecteur de mensonge nucléaire

En 2010, des chercheurs sud-africains ont, moyennant un soutien, notamment financier, de l'AIEA, commencé à utiliser une méthode nucléaire non radioactive appelée technique de dilution du deutérium (voir encadré) pour déterminer exactement combien de bébés étaient nourris exclusivement au sein et quand des aliments complémentaires étaient introduits dans leur régime alimentaire.

Les résultats ont été décourageants, car ils ont montré que les indications données par les mères au sujet de l'allaitement exclusif au sein étaient largement surestimées par rapport aux données plus exactes recueillies à l'aide de la technique de dilution du deutérium, a dit Coutsooudis.

La formation dispensée par l'AIEA et l'appui qu'elle a fourni pour l'achat d'équipements ont permis à Coutsooudis et à son équipe de chercheurs en santé d'évaluer plus précisément l'impact des programmes destinés à améliorer les taux médiocres d'allaitement exclusif au sein, qui étaient, selon les estimations, de 6 % à l'âge de trois mois et de 1 % seulement à l'âge de six mois, selon une étude effectuée en 2008 dans le KwaZulu-Natal.

« En 2012, nous avons institué un programme de mentorat à long terme avec de nouvelles mères qui ont été formées simultanément comme conseillères en allaitement maternel. La technique de dilution du deutérium a servi à valider les indications fournies au sujet des pratiques d'allaitement au sein. Nous avons pu montrer que le programme de mentorat et de consultation avait amélioré considérablement les taux d'allaitement exclusif au sein », a déclaré Coutsooudis. À l'issue du programme, les taux d'allaitement exclusif au sein avaient augmenté sensiblement pour atteindre 33,3 % à trois mois et 13,7 % à six mois. »



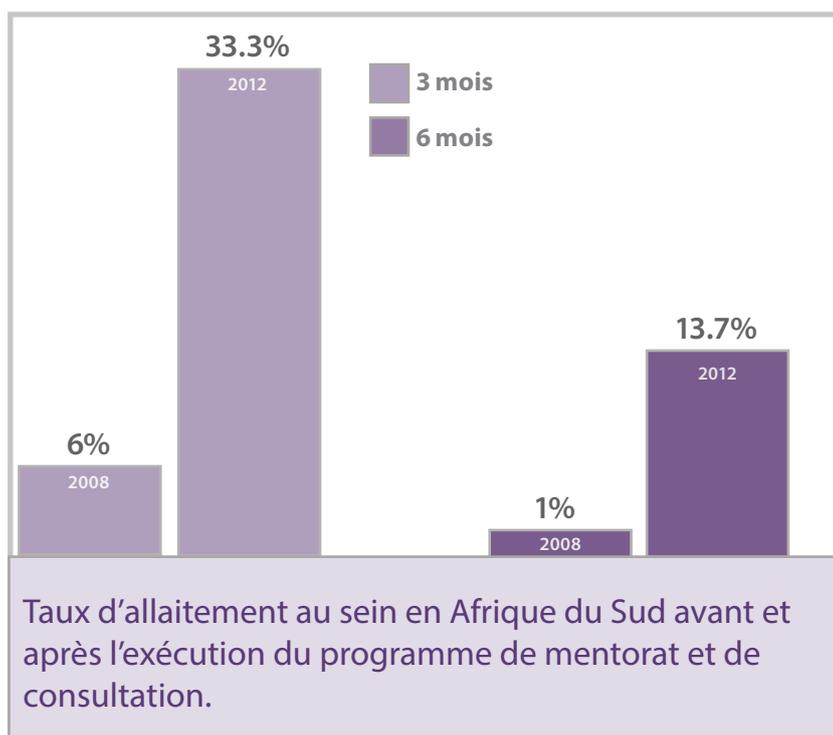
Ce nouveau programme de mentorat et de consultation a été si efficace que Coutsooudis a rapporté que des mères résistaient aux fortes pressions extérieures pour qu'elles introduisent des aliments complémentaires trop tôt.

Voici les propos, tels que rapportés par Coutsooudis, de M^{me} K et de M^{me} C :

« M^{me} K m'a dit ceci : "Mes amis sont venus me voir chez moi et m'ont demandé 'Quel porridge donnes-tu à ton bébé pour qu'il soit aussi gros et ait aussi bonne mine ?'. J'ai répondu : 'je ne lui donne pas de porridge, seulement du lait maternel'." »

Ses amis ne l'ont pas crue et sont allés voir dans le placard s'il y avait du porridge et n'en ont pas trouvé. Elle leur a dit ensuite incidemment comment toutes les mères pouvaient produire beaucoup de lait pour nourrir leurs bébés exclusivement au sein pendant les six premiers mois en les alimentant souvent – toutes les 2 à 3 heures quand ils sont petits. »

« M^{me} C m'a raconté qu'elle est allée à la clinique pour sa visite d'immunisation et que la sœur [infirmière/agente de soins de santé] lui a dit que son bébé était trop gros et qu'elle devrait arrêter de le nourrir au sein ; elle a dit à la sœur qu'elle ne donnait à son bébé que du lait maternel et qu'il ne pouvait pas être trop nourri et qu'elle n'allait donc pas réduire son alimentation. »



Source : Helen Mulol, Université du KwaZulu-Natal (Afrique du Sud)

LA SCIENCE

Dilution du deutérium

La mère boit de l'eau marquée au deutérium, isotope stable non radioactif de l'hydrogène (D₂O). Le deutérium se mélange à l'eau dans le corps de la mère, y compris son lait, et est ingéré par le bébé lorsqu'il tète. La salive de la mère et de l'enfant contient alors du deutérium. Au cours des deux semaines qui suivent, les chercheurs prélèvent régulièrement des échantillons de salive et mesurent la teneur de celle-ci en deutérium. La quantité de deutérium qu'ils constatent est directement proportionnelle à la quantité de lait maternel ingérée par le bébé.

Cette technique fait également apparaître si le bébé a ingéré autre chose que du lait maternel au cours de la période couverte par l'étude.

« Un modèle mathématique sert à déterminer la proportion du deutérium administré à la mère qui se retrouve dans la salive du bébé. Elle est liée à la quantité de lait humain qu'il a consommée. Ce modèle mathématique donne aussi une estimation de la quantité d'eau provenant d'autres sources que le lait maternel et permet donc de déterminer si le bébé est nourri exclusivement au sein ou non », a dit Christine Slater, chef par intérim de la Section de la nutrition à l'AIEA.



Bébé donnant un échantillon de salive à la clinique Cato Manor de Durban.

(Photo : H. Mulol)

Assurer la qualité tout en produisant localement : l'AIEA aide Cuba à produire des radiopharmaceutiques

Par Nicole Jawerth

Le cancer et les maladies cardiovasculaires sont des affections que Cuba peut désormais diagnostiquer et traiter plus aisément grâce à sa nouvelle installation de production de radiopharmaceutiques essentiels. En médecine nucléaire, on a besoin d'un approvisionnement constant et fiable en médicaments radioactifs de ce type, préparés conformément à ce que l'industrie appelle les 'bonnes pratiques de fabrication' (BPF) et, jusqu'ici, cette nation insulaire se heurtait à des restrictions pour en obtenir.

« Grâce à notre collaboration avec l'AIEA, nous disposons maintenant d'une installation spécialisée conforme aux BPF ainsi que des compétences nécessaires pour répondre à la plupart de nos besoins nationaux en radiopharmaceutiques diagnostiques et thérapeutiques en vue d'aider les patients », a déclaré René Leyva Montaña, Directeur de la production au Centre des isotopes (CENTIS), qui est le centre cubain spécialisé dans la production de radiopharmaceutiques.

Les BPF sont conformes à une série de normes internationales d'assurance de la qualité destinées à protéger les patients

conformité avec les BPF est un processus exigeant mais important, car une installation doit être conçue de manière à garantir la qualité vu que les produits à préparer doivent déjà être prêts à l'emploi sur les patients », a déclaré Joao Osso, chef de la Section des produits radio-isotopiques et de la technologie des rayonnements à l'AIEA.

La nouvelle installation cubaine produira des radiopharmaceutiques à l'aide de générateurs (voir encadré) d'yttrium 90 (^{90}Y), élément essentiel en médecine nucléaire pour le traitement du cancer du foie et d'autres affections. Le ^{90}Y est obtenu à partir de son précurseur, le strontium 90 (^{90}Sr). Le ^{90}Sr est un radio isotope, c'est-à-dire un élément radioactif qui se désintègre jusqu'à parvenir à un état stable. À mesure qu'il se désintègre lentement, il libère du ^{90}Y , un autre radio-isotope dont le temps de décroissance est beaucoup plus court. Au moyen de dispositifs spéciaux appelés 'générateurs', le ^{90}Y peut être 'extrait' du ^{90}Sr contenu dans le générateur. Le ^{90}Y est ensuite purifié rapidement et associé à des molécules particulières destinées à être utilisées en médecine nucléaire.

« Il est beaucoup plus économique et pratique de pouvoir produire les générateurs de ^{90}Y dans le pays que d'acheter les produits finis à l'étranger, car le temps de décroissance du ^{90}Y est court, ce qui le rend très difficile et très coûteux à transporter », a précisé Osso, en ajoutant que Cuba devra encore acheter des matières premières, comme le ^{90}Sr , auprès de fournisseurs étrangers.

L'AIEA a aidé Cuba mettre en place cette installation conforme aux BPF en lui fournissant l'assistance technique et la formation nécessaires pour le développement et la production du ^{90}Y , y compris le marquage, le contrôle de la qualité, la métrologie, la sûreté et la sécurité, a indiqué Osso. Cuba a en outre bénéficié d'une assistance et d'un financement de l'AIEA pour l'achat d'équipements d'analyse ainsi que de protection et de métrologie radiologiques et les matières requises.

Au stade actuel, le CENTIS prépare différentes formulations de ^{90}Y pour des radiopharmaceutiques diagnostiques et thérapeutiques qui pourront bientôt être testés cliniquement puis utilisés sur les patients, a expliqué Leyva Montaña. L'installation attend maintenant l'approbation définitive de la licence avant d'être prête à passer à une production à grande échelle, a-t-il ajouté.



La nouvelle installation de production de radiopharmaceutiques à base de ^{90}Y dispose de cellules chaudes conformes aux bonnes pratiques de fabrication pour protéger les travailleurs et produire des médicaments de haute qualité.

(Photo : CENTIS)

contre des produits de mauvaise qualité. Ces normes énoncent les prescriptions à respecter pour que les produits pharmaceutiques obtenus soient de grande qualité, sûrs et efficaces et contiennent l'activité voulue. « Assurer la



S'attaquer à un problème d'approvisionnement au niveau international

Contrairement au ^{90}Y et au ^{90}Sr , que l'on peut se procurer aisément, le technétium $^{99\text{m}}\text{Tc}$, radio-isotope qui est également important pour Cuba et de nombreux autres pays, soulève des difficultés d'approvisionnement au niveau international en raison de problèmes liés à la production de son précurseur, le molybdène ^{99}Mo .

« Le $^{99\text{m}}\text{Tc}$ est la substance de choix en médecine nucléaire. Plus de 70 % de toutes les études de médecine nucléaire effectuées dans le monde entier font appel à ce seul isotope », a expliqué Leyva Montaña. Les problèmes mondiaux d'approvisionnement en $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ont commencé à la fin des années 2000 à la suite de l'arrêt de la production dans deux réacteurs nucléaires qui assuraient les deux tiers de l'offre mondiale de ^{99}Mo . Les difficultés de ces réacteurs et la limitation des capacités de production dans d'autres pays se répercutent sur les disponibilités, a déclaré Osso. Les règles strictes applicables au transport aérien des matières radioactives ont en outre rendu difficile l'acheminement des envois internationaux, en particulier dans des îles comme Cuba, a ajouté Leyva Montaña.

« Un des principaux problèmes que les difficultés d'approvisionnement peuvent poser pour Cuba réside dans la hausse des prix du ^{99}Mo . Avec l'augmentation des prix, nous finirons par ne plus avoir les fonds nécessaires pour importer tout ce dont nous avons besoin et, en conséquence, les patients risquent de ne pas recevoir l'assistance qu'ils requièrent », a dit Leyva Montaña. « Jusqu'ici, cependant, les problèmes d'approvisionnement au niveau international n'ont pas eu d'effet notable pour Cuba, mais nous nous attendons à ce qu'ils en aient et travaillons donc dès maintenant à des solutions pour tenter d'y parer. »

Une des approches suivies par Cuba pour atténuer les difficultés d'approvisionnement a consisté à collaborer



Cuba disposera bientôt d'installations conformes aux bonnes pratiques de fabrication pour la production de générateurs $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$.

(Photo : CENTIS)

avec l'AIEA en vue de trouver de nouveaux fournisseurs de ^{99}Mo et de créer ses propres installations de production de générateurs $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$, a indiqué Leyva Montaña en ajoutant que cela aurait des retombées bénéfiques pour d'autres îles des Caraïbes. « Le projet aura un impact très positif sur Cuba et la rendra en outre à même d'apporter le soutien nécessaire à d'autres petits pays de la région. »

Le rôle de Cuba dans la région et sur la scène internationale a changé depuis que le pays a commencé à collaborer avec l'AIEA, a indiqué Leyva Montaña. « Au début, c'est Cuba qui a sollicité un appui sous la forme de bourses et de formations spécialisées, mais maintenant nous formons des boursiers à la production de radiopharmaceutiques et de générateurs, appuyons des projets de recherche coordonnée de l'AIEA et facilitons les échanges et la coopération avec plusieurs pays au niveau international. »

LA SCIENCE

Radiopharmaceutiques

Les radiopharmaceutiques sont des médicaments contenant de petites quantités de substances radioactives appelées radio-isotopes, qui sont des atomes émettant des rayonnements. Les radio-isotopes utilisés dans les radiopharmaceutiques peuvent être obtenus par irradiation de cibles spéciales dans des réacteurs de recherche nucléaires ou dans des accélérateurs de particules comme les cyclotrons. Ils sont ensuite associés à certaines molécules en fonction de leurs caractéristiques biologiques et l'on obtient ainsi des radiopharmaceutiques.

Une fois dans l'organisme d'un patient, les caractéristiques physiques et les propriétés biologiques différentes des radiopharmaceutiques les amènent à interagir avec différentes protéines ou différents récepteurs ou à s'y lier.

Il s'ensuit que les médicaments ont tendance à se concentrer davantage dans certaines parties du corps suivant les caractéristiques biologiques de la région considérée. À l'aide de caméras spéciales, les médecins peuvent cibler précisément les différentes régions de l'organisme pour les examiner ou les traiter en choisissant des types particuliers de radiopharmaceutiques. Si le radio-isotope émet un rayonnement particulière, le radiopharmaceutique peut aussi être utilisé à des fins thérapeutiques.

En terrain stable : lutte contre l'érosion des sols à l'aide des techniques nucléaires au Viet Nam

Par Miklos Gaspar

Dao Thanh Canh n'a jamais étudié la physique ou la chimie à l'école, mais il s'y entend un peu en matière d'isotopes nucléaires. Il y a quelques années encore, l'érosion rongait progressivement la majeure partie de son exploitation de deux hectares sur les hauts plateaux du centre du Viet Nam. Grâce aux techniques nucléaires utilisées pour déterminer la cause et l'origine exactes de l'érosion du sol, ses terres se sont maintenant stabilisées et sa plantation de café est profitable. « Nous étions très inquiets à cause de l'incertitude qui menaçait », a-t-il déclaré. « Quelques centimètres de sol disparaissaient chaque année lors des grandes tempêtes de grêle. »



Ci-dessus : grâce aux techniques nucléaires, l'agriculteur Dao Thanh Canh a pu maîtriser l'érosion dans sa plantation de café.

En haut à droite : les pentes des hauts plateaux du Viet Nam sont particulièrement exposées à l'érosion du sol.

(Photos : P. S. Hai, Centre de recherche et de protection environnementales de l'Institut de recherche nucléaire de Dalat)

Thanh Canh n'est pas le seul. La dégradation des sols touche 1,9 milliard d'hectares de terres dans le monde, soit près des deux tiers des ressources pédologiques mondiales.

L'érosion des sols est le principal facteur de dégradation des terres à l'échelle mondiale, entraînant tous les ans la perte de 75 milliards de tonnes de sol fertile, pour un coût économique de quelque 126 milliards de dollars des États Unis. En partenariat avec l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), l'AIEA aide des chercheurs et des agriculteurs à mesurer et à maîtriser l'érosion des sols au moyen de diverses techniques nucléaires. Celles-ci font appel notamment aux radionucléides des retombées, qui aident à évaluer les taux d'érosion des sols, et à l'analyse isotopique de composés spécifiques, qui aide à déterminer les points chauds de dégradation des terres (voir encadré).



Le cercle vicieux de l'érosion

L'érosion agit sur la couche supérieure – la plus fertile – du sol. En outre, elle emporte une grande partie des engrais utilisés en agriculture pour les déposer dans les eaux douces, où les engrais nourrissent les algues, ce qui réduit fortement la qualité de l'eau. « C'est une double calamité », a dit Mohammad Zaman, pédologue à la Division mixte FAO/AIEA des techniques nucléaires dans l'alimentation et l'agriculture.

L'agriculture intensive, associée au déboisement, est une cause courante d'érosion, a expliqué Zaman. Une agriculture agressive enlève la matière organique qui lie les particules du sol entre elles en laissant la zone vulnérable à l'érosion lors de gros orages. Les techniques nucléaires aident à identifier les points chauds d'érosion, ce qui permet de concentrer les mesures d'atténuation sur les zones les plus exposées. « Nos travaux permettent un traitement plus ciblé, plus efficace et, en conséquence, moins onéreux », a précisé Zaman. À la suite de l'impact que le projet a eu dans divers pays d'Asie, l'AIEA s'emploie maintenant à en reproduire le succès dans d'autres parties du monde et met en place un réseau d'experts nationaux pour partager les meilleures pratiques et le savoir-faire.



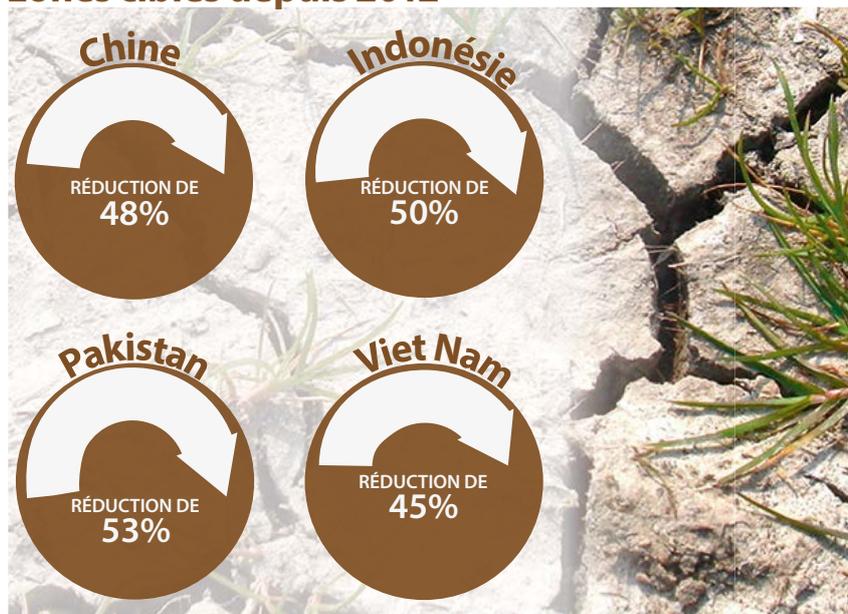
Mesurer l'érosion pour trouver des solutions

Au Viet Nam, où les trois quarts du territoire du pays sont en pente, l'érosion est un problème majeur. Dans le cadre d'un projet pilote FAO/AIEA exécuté dans la province vietnamienne de Lam Dong, les taux d'érosion des sols ont été mesurés à l'aide de techniques nucléaires sur 27 sites. L'adoption de pratiques de conservation appropriées telles que les cultures intercalaires, le creusement de cuvettes autour des caféiers pour retenir l'eau et la construction de terrasses ont conduit à une réduction de 45 % de l'érosion des sols, a déclaré Phan Son Hai, Directeur du Centre de recherche et de protection environnementales de l'Institut de recherche nucléaire de Dalat, qui participe au projet depuis 2012. Des résultats analogues ont été obtenus dans toute la région (voir graphique). Son Hai aide maintenant ses collègues à travers le pays à introduire les techniques nucléaires pour la surveillance de l'érosion à l'échelle nationale.

En Malaisie, pays qui participe également au projet, Othman Zainudin surveille une zone de forte érosion dans l'État de Perlis, dans la partie nord du pays, depuis plus de dix ans et s'est mis à utiliser les techniques nucléaires il y a deux ans. « Grâce à ces nouvelles techniques, nous pouvons recueillir des informations beaucoup plus détaillées », a dit Zainudin, qui enseigne la géomorphologie à l'Université d'éducation Sultan Idris, dans le nord de la Malaisie. Auparavant, son équipe pouvait mesurer seulement les taux de sédimentation dans les lacs, mais n'était pas à même de déterminer l'origine exacte des sédiments, a-t-il expliqué.

« Maintenant que nous connaissons précisément l'origine de l'érosion, nous pouvons prendre les mesures d'atténuation voulues », a indiqué Zainudin. Plus tard dans l'année, il organisera, en coopération avec le Département d'agriculture de l'État, un programme de formation à l'intention des agriculteurs sur les techniques permettant de réduire l'érosion des sols. « Nous n'aurions

Réduction de l'érosion des sols dans les zones cibles depuis 2012



Source : AIEA

pas pu lancer un tel programme de transfert de connaissances avant, car nous ne connaissions pas précisément l'origine de l'érosion », a-t-il dit.

Tout comme dans le cas de Dao Thanh Canh au Viet Nam, ses revenus ont augmenté de plus de 20 %, grâce aux théiers et aux fourrages qui poussent sur les points chauds d'érosion entre ses caféiers. Il ne doute plus de l'avenir et n'hésite pas à dépenser ses revenus supplémentaires, a-t-il dit. Il consacre maintenant une grande partie de cet argent à la scolarisation de ses quatre enfants. « Je veux leur offrir l'éducation dont je n'ai jamais pu bénéficier », a-t-il déclaré.

LA SCIENCE

Analyse des radionucléides des retombées et des isotopes stables de composés spécifiques

Les radionucléides des retombées proviennent essentiellement des essais d'armes nucléaires et se sont dispersés sur une vaste superficie dans le monde entier. Ils sont présents dans l'atmosphère et se déposent à la surface du sol avec la pluie.

Ils peuvent aider à déterminer les modifications des modes et des taux de redistribution des sols dans les grands bassins hydrographiques et à évaluer l'efficacité des mesures de conservation des sols destinées à lutter contre l'érosion. Ces radionucléides peuvent être mesurés assez aisément de manière non destructive à l'aide de la spectrométrie gamma moderne à haute résolution.

La technique des isotopes stables de composés spécifiques sert à déterminer l'origine du sol érodé, car ces isotopes sont spécifiques à différentes plantes. En étudiant la composition du sol érodé, les chercheurs peuvent en déterminer l'origine.

L'association des deux méthodes permet d'établir un lien solide entre le sédiment dans le bassin hydrographique et le site d'érosion d'où il provient.

Éradication des mouches tsé-tsé : le Sénégal est proche de sa première victoire

Par Aabha Dixit

À l'issue d'un programme d'éradication de quatre ans pour lequel il a été fait appel aux techniques nucléaires, la région des Niayes au Sénégal est désormais quasiment exempte de mouches tsé-tsé, qui décimaient le bétail auparavant.

« Je n'ai pas vu une seule mouche tsé-tsé depuis un an maintenant », a déclaré l'éleveur de bovins Oumar Sow. « Ce n'est pas comme avant, quand leur nombre augmentait, en particulier durant la saison froide. Les mouches étaient une vraie plaie pour nos animaux et nous devions choisir soigneusement le moment opportun pour les traire. Maintenant, nous n'avons plus ce problème. »



Mise en place d'un piège à tsé-tsé pour suivre les progrès de la campagne d'éradication dans les Niayes au Sénégal.

(Photo : M. Vreysen/Division mixte FAO/AIEA)

La mouche tsé-tsé est un insecte hématophage qui tue tous les ans plus de 3 millions de têtes de bétail en Afrique subsaharienne, ce qui coûte annuellement à l'agriculture plus de 4 milliards de dollars des États-Unis. La mouche tsé-tsé transmet des parasites provoquant chez le bétail une cachexie appelée 'nagana'. Dans certaines régions d'Afrique, elle est aussi à l'origine chez les humains de plus de 75 000 cas de 'maladie du sommeil', qui affecte le système nerveux central en provoquant une désorientation, des modifications de la personnalité, des troubles de l'élocution, des convulsions, des difficultés pour marcher et parler et finalement la mort.

Supprimer la reproduction

Le Sénégal a intégré avec succès une technique de contrôle des naissances des insectes faisant appel aux rayonnements pour stériliser les mouches mâles, ce qui réduit les populations avec le temps (voir encadré). Cette technique a réduit la population de mouches de 98 % dans deux des trois zones infestées de Niayes, et cette technique sera appliquée l'an prochain dans la troisième zone, a indiqué Baba Sall, responsable du projet au Ministère sénégalais de l'élevage et de la production animale. L'éradication des mouches améliorera sensiblement la sécurité alimentaire et contribuera au progrès économique, a déclaré Sall, en ajoutant que les études sur 227 exploitations avaient montré que le revenu de la population rurale des Niayes augmentera de 30 %.

La vie est devenue plus confortable non seulement pour les animaux, mais aussi pour les éleveurs, a déclaré Loulou Mendy, qui élève des porcs dans la région. « Maintenant, nous pouvons dormir dehors », a-t-il dit. « C'était impensable avant à cause des piqûres de tsé-tsé. »

Au Sénégal, qui est un des 38 pays africains infestés par la mouche tsé-tsé, la superficie touchée est d'environ 60 000 km², a précisé Sall. La phase opérationnelle de la campagne contre la mouche tsé-tsé a débuté dans la région des Niayes près de la capitale Dakar en 2011. Situées à l'ouest sur la côte atlantique et constituées par des vestiges de forêts guinéennes avec le palmier à huile africain comme principale essence, les Niayes ont un microclimat côtier et des conditions écologiques qui sont favorables à l'espèce de mouche tsé tsé *Glossina palpalis gambiensis*.

Cette région a été choisie par le gouvernement sénégalais parce qu'elle se prête particulièrement bien à l'élevage de bovins qui y produisent plus de lait et de viande que dans d'autres régions. Toutefois, la forte incidence de la stérilité et de la perte de poids chez les animaux, due à la nagana, a entraîné une réduction de la production de viande et de lait, et rendu les animaux trop frêles pour labourer les terres ou transporter les produits, ce qui, à son tour, a nui gravement à la production végétale, a déclaré Marc Vreysen, chef du Laboratoire de la lutte contre les insectes ravageurs à la Division mixte FAO/AIEA des techniques nucléaires dans l'alimentation et l'agriculture.

Tentatives d'éradication antérieures

Des campagnes d'éradication ont été menées antérieurement dans la région des Niayes de 1971 à 1981 et ont permis de réduire les populations de mouches tsé-tsé pendant une



décennie, a déclaré Sall, mais la réapparition de ce ravageur en 2003 a eu depuis de graves répercussions pour le bétail et les moyens de subsistance des éleveurs. Les recherches ont révélé que les tentatives antérieures d'éradication n'avaient pas été fructueuses parce qu'elles n'avaient pas réussi à atteindre l'ensemble de la population de mouches dans la région, en laissant subsister des poches à partir desquelles elle a pu se reconstituer.

La stérilisation au moyen de techniques nucléaires est justement très efficace en pareilles circonstances, à savoir lorsque la population de mouches a été réduite sensiblement par des techniques classiques mais qu'il subsiste des poches d'insectes, a expliqué Vreysen. « Les mouches mâles stérilisées iront à la recherche des femelles vierges où qu'elles se trouvent », a-t-il dit. « Cela conduira à une élimination complète de la population dans ces zones. »

Le projet exécuté au Sénégal a débuté par une étude de faisabilité lancée en 2006, avec le soutien de l'AIEA, de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, du Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD) et du gouvernement sénégalais par l'intermédiaire de l'Institut



sénégalais de recherches agricoles et de la Direction des services vétérinaires en vue de déterminer la possibilité de créer une zone exempte de tsé-tsé dans la région des Niayes. Il est ressorti de cette étude d'une durée de quatre ans que 28,7 % du bétail souffraient de terribles problèmes de santé à cause de la mouche tsé-tsé.

Le lâcher de mouches mâles stériles a commencé en 2012, après trois années d'essais pilotes, de formation, de préparation et de tests.

LA SCIENCE

Contrôle des naissances pour les mouches

La technique de l'insecte stérile (TIS) est une forme de lutte contre les ravageurs qui fait appel aux rayonnements ionisants pour stériliser des mouches mâles produites en masse dans des installations spéciales d'élevage. Les mâles sont relâchés systématiquement au sol ou par avion dans des zones infestées de tsé-tsé où ils s'accouplent avec des femelles qui n'engendrent pas de progéniture. Cette technique permet donc à terme d'éradiquer les populations de mouches sauvages. La TIS compte parmi les tactiques de lutte les plus respectueuses de l'environnement et est généralement mise en œuvre en tant que dernier volet d'une campagne intégrée d'élimination de populations d'insectes.

La Division mixte FAO/AIEA soutient une quarantaine de projets de terrain faisant appel à la TIS, comme celui mené au Sénégal, qui sont exécutés au titre du programme de coopération technique de l'AIEA dans différentes régions d'Afrique, d'Asie, d'Europe et d'Amérique latine. Elle a prêté son concours pour l'éradication réussie de la mouche tsé-tsé dans l'île d'Unguja, à Zanzibar, tandis qu'en Éthiopie, la population de mouches a été réduite de 90 % dans certaines zones du sud de la vallée du Rift.



Lâchers aériens de tsé-tsé mâles stériles au-dessus des Niayes à l'aide d'un autogire.

(Photo : Jérémy Bouyer/CIRAD)

Semer les graines du changement : l'amélioration des plantes par mutation aide le Bangladesh à nourrir sa population en expansion

Par Nicole Jawerth

Les villages du nord du Bangladesh étaient auparavant en proie à la pauvreté et à la faim pendant les long mois des périodes de 'monga', mais maintenant ils grouillent d'activité alors que les agriculteurs et les ouvriers agricoles récoltent de nouvelles variétés de plantes obtenues à l'aide de techniques nucléaires.

« 'Monga' est un mot bengali qui signifie 'famine' », a expliqué Mirza Mofazzal Islam, scientifique principale et chef de la Division de biotechnologie à l'Institut bangladais d'agriculture nucléaire (BINA). Il sert à décrire la période allant de la mi-septembre à la mi-novembre et celle de mars-avril où « il n'y a pas de travail pour les ouvriers agricoles, qui souffrent alors de la faim », a précisé Mofazzal Islam.



De nouvelles variétés mutantes obtenues à l'aide de techniques nucléaires ont aidé l'agriculteur Mohammad Faridul Islam (à droite) à accroître les rendements de ses cultures et à améliorer ses moyens de subsistance.

(Photo : I. Khalil/BINA)

Les cultures de riz classiques mettent quelque 140 à 150 jours pour parvenir à maturité, en sorte que les intervalles entre les récoltes sont très longs et cela accroît le risque qu'elles soient endommagées par la maladie, les chutes de grêle et la sécheresse, a expliqué A. H. M. Razzaque, Directeur général du BINA. Une variété de riz mutante produite par le BINA avec le soutien de l'AIEA à l'aide de techniques nucléaires (voir encadré) a des rendements supérieurs et des périodes de maturation plus courtes de 110 à 120 jours, ce qui permet de disposer de 30 à 35 jours supplémentaires pour cultiver d'autres plantes telles que des légumes.

Avec cette variété, « les agriculteurs se lancent maintenant dans la culture de légumes d'hiver, de légumineuses et d'oléagineux et reviennent au riz pour une nouvelle récolte. De la sorte, ils cultivent tout le temps, ce qui accroît l'activité agricole et l'intensité de culture », a déclaré Razzaque. Le revenu des agriculteurs, y compris les femmes, a ainsi augmenté et cela a aussi contribué à l'augmentation d'environ 23 % de la production de riz du Bangladesh depuis 2003, a fait observer Razzaque.

Dans le nord-ouest du Bangladesh, région qui n'est pas touchée par la monga, de nouvelles variétés mutantes ont en outre aidé les agriculteurs à affronter les conditions environnementales difficiles. « Le mode de subsistance des agriculteurs a changé avec les nouvelles variétés [mutantes], en particulier de haricot mungo et de lentilles », a dit Mohammad Faridul Islam, un agriculteur du village d'Ishurdi. « Maintenant, je peux pourvoir aux besoins de ma famille ; mes deux filles vont au collège et je peux acheter de la nourriture et des vêtements de meilleure qualité. L'an dernier, j'ai acheté des terres pour agrandir mon exploitation et j'ai construit ma nouvelle maison. Ma famille ne se plaint plus à propos de ses besoins. Elle est heureuse. »

Les agriculteurs de la côte sont confrontés à un problème tout différent, a indiqué Razzaque. Plus d'un million d'hectares de terres sont touchées par la salinisation et la dégradation du sol et sont impropres à la culture des variétés traditionnelles. Il existe maintenant deux variétés autogames tolérant mieux les sols salins, et en remplaçant les variétés traditionnelles par les variétés du BINA, il est possible de cultiver de 40 à 50 % des jachères, a expliqué Razzaque. « Mais il nous faut davantage de variétés tolérant les sols salins afin de pouvoir maintenir les terres en culture toute l'année », a-t-il souligné.

Se préparer au changement climatique

Le changement climatique aggrave encore les conditions environnementales du pays, en provoquant la pénétration de plus d'eau salée dans les sols normaux, des chutes de pluie inopportunes qui entraînent des inondations, ainsi qu'une augmentation du nombre des zones où sévit une grave sécheresse, a dit Razzaque.

« Le gouvernement nous incite à avoir de bonnes variétés mutantes durables pour faire face aux problèmes que va poser le changement climatique », a déclaré Mofazzal Islam. « C'est la raison pour laquelle nous sommes profondément conscients de l'importance de la technologie nucléaire pour la mise au



point de telles variétés afin d'être prêts à combattre les effets du changement climatique sur le développement agricole. »

Avec le soutien apporté par l'AIEA sous la forme de formations et de bourses, de visites d'experts, de ressources humaines et de créations de laboratoires, ainsi que d'équipement depuis 1971, le BINA a pu obtenir de nouvelles variétés mutantes. L'institut a mis au point plus de 59 variétés à l'aide de la technologie nucléaire et 23 variétés de 12 espèces végétales différentes grâce à une sélection assistée par marqueurs et à d'autres techniques d'amélioration des plantes. Grâce à ces nombreuses variétés, « nous pouvons répondre aux besoins et aux problèmes des agriculteurs et maintenant, espère-t-on, à l'augmentation de la demande », a dit Mofazzal Islam.

« Une fois votre estomac rempli, vous vous posez la question de la qualité », a dit Razzaque. Les exigences s'accroissent à mesure que les agriculteurs et le gouvernement s'intéressent de plus en plus à des qualités différentes et à des variétés plus nutritives, enrichies en zinc et en fer, a-t-il dit. « Nous avons de sérieux problèmes de santé au Bangladesh à cause de carences en zinc et en fer, en particulier dans le cas des mères allaitantes et des jeunes enfants. Une carence en ces micronutriments durant la grossesse les expose à d'autres maladies après la naissance et les nouveau-nés peuvent être handicapés. »

Perspectives d'avenir

Le BINA aspire à poursuivre sa collaboration avec l'AIEA. « Nous étendons le champ de nos activités avec l'aide de l'AIEA », a déclaré Razzaque. Maintenant, en plus de la sélection végétale par mutation, le BINA s'occupe également de la gestion du sol et de l'eau, de la lutte contre les ravageurs

Production totale de riz au Bangladesh



Source : BINA

et du transfert de technologie en vue d'aider les agriculteurs du Bangladesh et des pays voisins, a-t-il expliqué.

« La recherche est un processus continu. Nous ne pouvons pas nous arrêter », a déclaré Razzaque. « Notre stratégie de recherche vise à satisfaire les agriculteurs en leur fournissant des variétés de meilleure qualité et plus nutritives, tout en faisant face aux défis qui se posent dans les champs et aux problèmes climatiques. Nous continuerons à mettre au point des variétés et des technologies nouvelles pour répondre à la demande des agriculteurs et à celle du pays tout entier. »

LA SCIENCE

Sélection des plantes par mutation

La sélection des plantes par mutation est le procédé consistant à exposer des semences, des boutures ou une feuille déchiquetée à des rayonnements comme les rayons gamma, puis à planter la semence ou à cultiver les matières irradiées dans un milieu d'enracinement stérile pour obtenir une plantule. Les plants sont alors multipliés et on en examine les caractères. On recourt à l'amélioration à l'aide de marqueurs moléculaires, souvent appelée sélection assistée par marqueurs (SAM), pour accélérer la sélection des plants porteurs de gènes intéressants (caractères souhaités). La SAM comporte l'utilisation de marqueurs moléculaires pour la sélection des plants porteurs de certains gènes exprimant les caractères souhaités. On poursuit la culture de ceux qui présentent ces caractères.

La sélection des plantes par mutation ne consiste pas à modifier des gènes mais plutôt à utiliser les propres ressources génétiques d'une plante et à imiter le processus naturel de mutation spontanée, le moteur de l'évolution, processus qui prend autrement des centaines de millions d'années. En utilisant les rayonnements, les chercheurs peuvent obtenir des variations bénéfiques dans un délai aussi court qu'un an. Des techniques de criblage appropriées ciblent certains caractères essentiels, par exemple pour obtenir des plantes tolérant une forte salinité du sol ou résistant à certains ravageurs. On peut ainsi valider une nouvelle variété en vue de son utilisation en un temps record.

Respirer plus aisément : l'Indonésie s'emploie à rendre l'air plus pur

Par Michael Amdi Madsen

Les Indonésiens peuvent espérer respirer un air plus pur en raison des modifications attendues de la réglementation à la suite d'une étude effectuée à l'aide de techniques nucléaires d'analyse. La pollution par le plomb et d'autres fines particules en suspension dans l'air est désormais surveillée avec précision, et ce pour la première fois, ce qui permet aux responsables indonésiens de se faire une bonne idée de leur problème de pollution atmosphérique et de la façon de le gérer.

« C'est là un grand progrès pour nous », a déclaré Muhayatun Santoso, maîtresse de recherche à l'Agence nationale indonésienne de l'énergie nucléaire (BATAN). « Nous comptons disposer d'une réglementation environnementale renforcée avant que le pays se lance dans de grands projets de développement énergétique. »



Échantillonnage de l'air à Palangka Raya, Bornéo, en Indonésie.

(Photo : M. Santoso/BATAN)

Il n'en a pas toujours été ainsi. En 2006, l'Indonésie a entrepris un projet d'amélioration de la qualité de l'air dans les villes avec pour objectif de le rendre pur et sain en Indonésie à l'horizon 2020. Le pays a introduit un système de surveillance faisant appel à diverses techniques classiques, et notamment à des systèmes de gestion de la qualité de l'air dans dix villes et à des échantillonneurs passifs dans 33 provinces.

« En raison de la limitation des ressources, les systèmes de gestion de la qualité de l'air n'ont pas tous pu fonctionner convenablement dans les dix villes – leur entretien coûtait beaucoup d'argent », a indiqué Santoso. « En outre, le système lui-même présentait des limites, car il ne pouvait pas surveiller les particules d'une taille inférieure à 2,5 microns, en sorte qu'il ne détectait pas toute une série de polluants atmosphériques potentiellement nocifs. Nous devons l'améliorer et essayer autre chose. »

Essayer quelque chose de nouveau

Essayer quelque chose de différent signifiait collaborer avec l'AIEA afin de faire appel aux techniques nucléaires d'analyse dans le cadre du projet de surveillance de la qualité de l'air. L'analyse par activation neutronique, la fluorescence X et l'analyse par faisceaux d'ions peuvent fournir de grands ensembles de données uniques au sujet de la composition élémentaire des particules en suspension dans l'air – informations indispensables pour déterminer les sources possibles de pollution atmosphérique (voir encadré).

« La pollution anthropique par le plomb se présente principalement sous la forme de fines particules – de moins de 2,5 microns – et il peut être difficile d'en détecter l'origine », a dit Santoso. À l'aide de l'analyse par émission X induite par protons et des connaissances obtenues de l'AIEA, l'équipe de chercheurs de la BATAN a réussi à trouver la cause et la source de la pollution par le plomb dans diverses régions, notamment à Serpong, près de Jakarta. « Nous avons pu associer une forte proportion de la pollution à un centre de recyclage et à une installation de production de batteries au plomb », a-t-elle dit.

Les résultats du projet ont aidé à exercer une répression contre les pollueurs illégaux et à éduquer le public au sujet des dangers de la pollution par le plomb, a indiqué Santoso.

En collaboration avec les villes locales, les agences de protection de l'environnement des provinces et le Ministère indonésien de l'environnement, la BATAN a étendu la surveillance au-delà de Java. « Nous avons fait un grand pas en multipliant les sites d'échantillonnage, qui sont passés d'un seul à Bandung à 16 dans les villes de nos plus grandes îles », a-t-elle dit.

Un engagement prometteur

Les résultats de la surveillance de l'air encouragent le changement au niveau législatif. Ceux de l'étude sur la pollution par le plomb ont amené à réviser la loi indonésienne sur la lutte contre la pollution atmosphérique – en abaissant les seuils de concentrations admissibles de plomb dans l'air ambiant. « Cette contribution a témoigné d'une amélioration prometteuse de l'engagement, de la politique et de la stratégie du gouvernement en faveur de la lutte contre la pollution atmosphérique à l'échelle nationale », a déclaré Santoso. Le projet est en passe de s'étendre encore à l'aide de plus de techniques sur davantage de sites », a-t-elle indiqué.

« Au cours des trois à cinq années à venir, nous couvrirons 34 villes et atteindrons notre objectif, qui est d'assurer une surveillance dans toutes les capitales des provinces de l'Indonésie. »



Contrôler le développement

L'Indonésie se développe rapidement et prévoit de construire à Java et à Bali plus de 30 centrales électriques, dont une centrale au charbon de 10 000 mégawatts. Ces centrales contribueront à la pollution de l'environnement, ce qui exigera une extension de la surveillance, a expliqué Santoso. Dans le cadre du projet de surveillance de la pollution, de nouvelles études analytiques de caractérisation devront être effectuées sur le charbon utilisé et sur ses produits de combustion et leur impact environnemental, a-t-elle déclaré.

L'évaluation de l'impact environnemental et physiologique d'éléments toxiques dépend des niveaux d'exposition, des quantités et de la spécificité chimique. « L'exécution d'analyses de l'état élémentaire et chimique de l'arsenic, du mercure, du cadmium, du nickel, du chrome et du plomb – éléments toxiques en traces associés à la combustion du charbon – est cruciale pour nous, mais ces éléments sont malheureusement en quantités inférieures aux limites de détection de la fluorescence X à dispersion d'énergie et de l'émission X induite par des particules, technologies nucléaires que nous utilisons », a-t-elle dit.

Pour surmonter cette limitation, l'Indonésie a besoin d'avoir accès à un synchrotron – un type d'accélérateur de particules – qui peut l'aider à analyser ses échantillons. L'AIEA prête son concours à l'Indonésie à cette fin en utilisant un synchrotron mis à la disposition de l'Agence dans le cadre d'un projet de recherche coordonnée avec des organismes partenaires à Trieste, en Italie. La BATAN espère que cette coopération fournira au projet de surveillance de la qualité de l'air des informations plus importantes au sujet de la spéciation et de la composition chimique des polluants atmosphériques, ce qui l'aidera à mieux évaluer l'impact environnemental du projet et assurera à chacun un bol d'air pur.



Experts identifiant des échantillons de particules en suspension dans l'air à l'aide de techniques nucléaires d'analyse à la BATAN. (Photo : sM. Santoso/BATAN)

La pollution atmosphérique est un problème régional, a expliqué Gashaw Gebeyehu Wolde, administrateur de programme à l'AIEA. « La pollution est un problème grave, et en fournissant un appui en matière de formation et une expertise, nous aidons les pays à établir des mécanismes d'échantillonnage qui permettent de déterminer avec précision la cause et l'origine de la pollution atmosphérique », a-t-il dit. « Il est important de savoir si la pollution est d'origine anthropique ou si elle est due à un incendie de forêt ou à un volcan. » Dans le cadre de son programme régional, l'AIEA aide des pays de toute l'Asie du Sud-Est à constituer une vaste base de données régionale à usage commun et leur fournit un appui pour développer les capacités locales d'analyse et, au besoin, offre la possibilité de faire analyser les échantillons dans des centres de ressources régionaux disposant d'installations d'analyse plus perfectionnées, comme ceux qui existent en Australie et en Nouvelle-Zélande.

LA SCIENCE

Émission X induite par des particules

L'émission X induite par des particules (PIXE) est une technique nucléaire d'analyse qui fait appel à un faisceau d'ions – c'est-à-dire un faisceau de particules chargées – pour obtenir des informations sur la composition élémentaire d'un échantillon.

La PIXE consiste à exposer un échantillon à un faisceau d'ions. L'interaction entre le faisceau et l'échantillon produit un rayonnement électromagnétique dont la longueur d'onde peut être attribuée à des éléments et isotopes particuliers.

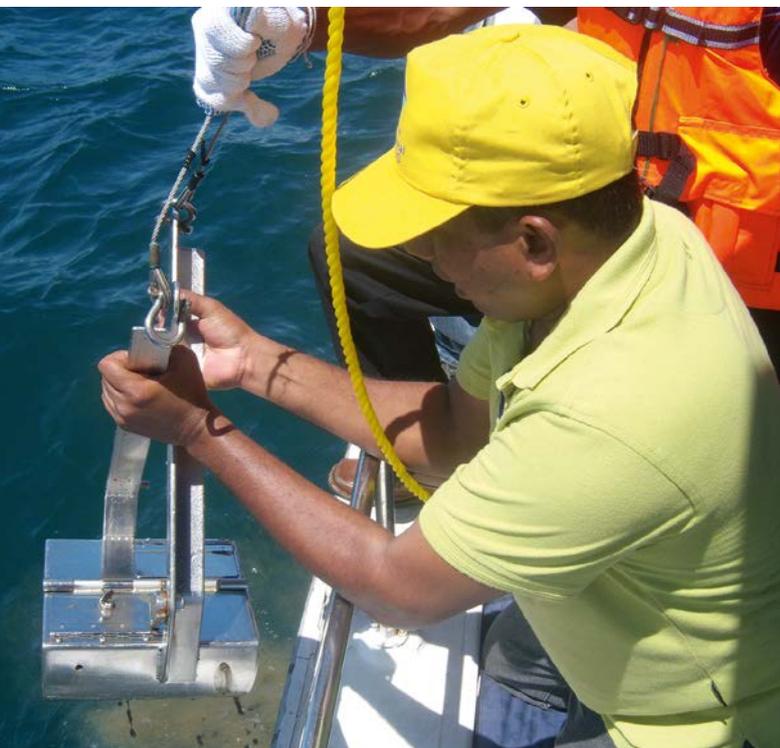
Cela renseigne le chercheur non seulement sur la nature de l'échantillon, mais aussi sur son origine.

La PIXE n'est pas utilisée seulement pour la surveillance de la pollution de l'air : comme c'est une technique d'analyse non destructive – elle ne détruit pas l'échantillon étudié – elle peut être employée en archéologie et pour la conservation d'œuvres d'art.

À la pêche aux réponses : Sri Lanka prouve qu'il n'y a pas de problème de radioactivité dans ses eaux côtières

Par Michael Amdi Madsen

Plus d'un million de Sri-Lankais vivent de la mer, et environ la moitié de la ration protéique de la population de l'île provient du poisson. La mer fournit aux habitants du pays leurs moyens d'existence, leur nourriture quotidienne, ou les deux à la fois. Les préoccupations suscitées après le 11 mars 2011 à la suite de l'accident survenu dans la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi ont fait ressortir l'importance d'un contrôle des substances radioactives dans les océans, mais Sri Lanka ne possédait ni le matériel ni le savoir-faire nécessaires pour mesurer les niveaux de radioactivité dans ses eaux.



Chercheurs sri-lankais prélevant des échantillons en mer pour contrôler les niveaux de radioactivité.

(Photo : AEB)

Les Sri-Lankais étaient particulièrement préoccupés par la qualité du poisson qu'ils mangeaient. « Nous avons été contraints de contrôler la radioactivité dans des échantillons de poisson provenant de la pêche locale, de poisson surgelé importé et de poisson en conserve importé d'autres pays », déclare Vajira Waduge, Directrice de la Division des sciences de la vie du Conseil sri-lankais de l'énergie atomique (AEB).

L'AIEA a lancé un projet destiné à aider 24 pays de la région à établir des valeurs de référence pour les niveaux de

radioactivité, tant naturelle qu'artificielle, dans leurs eaux côtières (voir encadré).

Waduge et son équipe ont détecté du césium 137 dans des échantillons de poisson en conserve importé, mais seulement à des niveaux négligeables. De faibles niveaux de césium ont été détectés régulièrement dans les eaux et les sédiments à Sri Lanka, mais seulement à cause des retombées des essais nucléaires des années 1950 et 1960. Afin d'aider à faire passer auprès du public le message selon lequel les produits de la mer étaient sûrs, l'industrie de la pêche, les importateurs et l'AEB ont lancé une campagne de publicité dans le cadre de programmes de sensibilisation, a dit Waduge.

Se procurer les outils

Avant le lancement du projet, l'AEB disposait de capacités de base pour l'analyse par spectrométrie gamma, mais il n'était pas en mesure d'effectuer les analyses d'échantillons marins nécessaires pour constituer une base de données sur la radioactivité marine.

Grâce à des ateliers et à des formations de l'AIEA, l'AEB a mis en place des méthodologies d'échantillonnage et des procédures d'analyse, ce qui lui a permis de contrôler les niveaux de radioactivité en mer dans les sédiments du fond, l'eau, les poissons et les algues.

Par la suite, l'AEB a pu obtenir des fonds du gouvernement pour acquérir un nouvel équipement plus perfectionné avec lequel son personnel a pu déceler de très légères traces de radionucléides et établir des données de référence.

« L'instrument a été très utile pour l'analyse d'échantillon en raison de sa forte capacité », a indiqué Waduge. La collaboration avec l'Autorité de protection de l'environnement marin a constitué une des principales clés du succès du projet à Sri Lanka, a-t-elle ajouté.

En décembre dernier, l'AEB a pu aussi acquérir du matériel d'analyse d'échantillons pour établir des données de référence concernant le strontium 90 – produit de fission issu des centrales nucléaires et des retombées d'essais d'armes nucléaires – et se tourne vers l'AIEA pour obtenir une assistance et des formations en vue de tirer le meilleur parti possible de ce nouvel équipement, a dit Waduge.

Sri Lanka n'était pas le seul pays qui ne disposait pas de données de référence sur la radioactivité marine. Dans toute

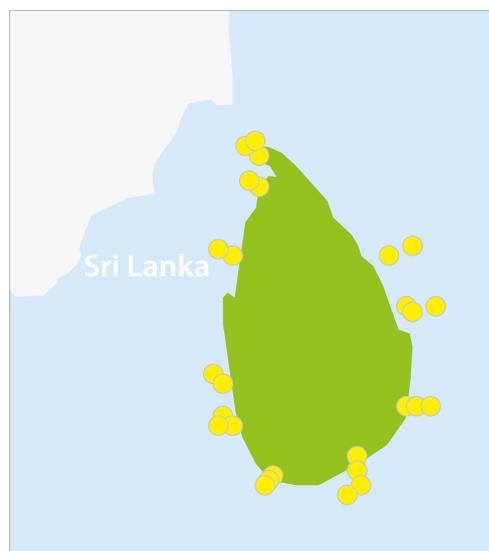
la région de l'Asie et du Pacifique, de nombreux pays ne possédaient pas les compétences, le matériel ou les fonds nécessaires pour mesurer régulièrement la radioactivité marine. En vue de répondre à leurs besoins, l'AIEA a mis sur pied un projet qui aide 24 pays à se doter de moyens de surveillance de l'environnement marin, en mettant l'accent sur la détection du césium. « Les capacités de surveillance de la radioactivité marine varient suivant les pays », a déclaré Iolanda Osvath, chef du Laboratoire de radiométrie de l'AIEA. « Lorsque nous avons lancé ce projet, certains petits pays insulaires ont dû partir de rien, alors que dans d'autres pays, nous avons aidé à améliorer les capacités ou à affiner les méthodes. »

L'étape suivante

À Sri Lanka, le projet a convaincu les responsables de la nécessité de disposer d'un programme de contrôle radiologique et a permis d'obtenir des fonds suffisants pour développer l'infrastructure. Un nouveau complexe, qui sera achevé en 2016, comprendra des laboratoires spécialisés dans la spectrométrie gamma, la spectrométrie alpha et bêta ainsi que la radiochimie.

Sri Lanka dispose maintenant, pour ses eaux, d'une base de données de référence qu'elle espère entretenir et enrichir à l'aide de données supplémentaires. « L'étape suivante consistera à étendre notre plan d'échantillonnage aux eaux profondes du bassin de Mannar en vue d'établir des données de référence pour ce bassin », a déclaré Waduge. Les données de référence recueillies seront incorporées dans la base du Système d'information sur l'environnement marin de l'AIEA et dans la base sur la radioactivité marine dans la région Asie et Pacifique afin que d'autres pays puissent y accéder aisément.

Emplacements des sites de contrôle radiologique autour de Sri Lanka



LA SCIENCE

Qu'entend-on par valeur de référence ?

La détection de radionucléides à l'état de traces dans un échantillon est difficile et requiert des équipements très spécialisés et très sensibles. Pour que les autorités puissent savoir rapidement si un rayonnement détecté provient d'une source nouvelle, elles ont besoin d'une donnée de base – la 'valeur de référence'.

Une valeur de référence est une donnée fondamentale qui facilite le contrôle radiologique ultérieur. Si un nouvel échantillon contient un radionucléide, on peut faire une comparaison avec la valeur de référence pour voir si le radionucléide provient d'une nouvelle source.

Les océans ont, en majeure partie, des niveaux très faibles de radionucléides – qui proviennent habituellement des retombées des anciens essais d'armes nucléaires. Lorsque des radionucléides sont détectés, une comparaison avec les données fournies par des échantillons antérieurs peut révéler si la contamination est ancienne ou nouvelle.

Une récolte abondante avec chaque goutte : accroître les rendements et conserver l'eau avec l'irrigation au goutte-à-goutte

Par Rodolfo Quevenco

Auparavant, les choux-fleurs, les brocolis, les poivrons et bien d'autres légumes nutritifs étaient chers à Maurice. Le climat de l'île et les pratiques agricoles traditionnelles ne convenaient pas pour plusieurs cultures maraîchères à forte valeur, tandis que l'importation de légumes dans cet État insulaire était prohibitive en raison des longues distances à parcourir.

Tout cela a changé ces dernières années, et les exploitations locales commencent maintenant à approvisionner la population en expansion du pays et l'industrie touristique en plein essor en produits frais cultivés localement.



Manoj Chumroo a doublé son rendement et approvisionne maintenant les hôtels locaux en choux-fleurs et autres légumes frais.

(Photo : R. Vencatasamy/FAREI)

L'astuce réside dans l'irrigation au goutte-à-goutte, que les techniques nucléaires servant à mesurer les taux d'humidité à la fois dans les sols et les plantes ont rendue possible en permettant aux agriculteurs et aux agents agricoles de déterminer exactement la quantité d'eau et de nutriments à utiliser et quand l'utiliser (voir encadré).

« L'adoption de l'irrigation au goutte-à-goutte a accru la production alimentaire végétale et les revenus des agriculteurs dans toute l'île », a déclaré Ram Vencatasamy, chercheur

chargé du programme d'irrigation à l'Institut mauricien de recherche et de vulgarisation alimentaires et agricoles (FAREI).

« L'irrigation au goutte-à-goutte est un excellent système pour les petits agriculteurs comme nous », a dit Manoj Chumroo, agriculteur de l'est de Maurice qui cultive des légumes avec sa femme sur leur exploitation de 480 hectares depuis 1986. « Elle peut vraiment aider à accroître notre rendement et notre revenu. »

L'irrigation au goutte-à-goutte permet d'alimenter les plantes en eau grâce à un réseau de conduites et de tubes fins qui apportent l'eau directement au pied ou à la racine des plantes. Ce procédé aide à réduire la quantité d'eau utilisée.

« J'ai doublé le rendement de mes cultures cette saison », a dit Chumroo. « Et les encanteurs ont payé de bons prix au marché en raison de la qualité supérieure des choux-fleurs et des piments. »

Grâce à cela, Chumroo a remplacé son vélo par une moto pour se rendre aux champs le matin. Il a acheté une parcelle de terre adjacente et a pris un prêt bancaire pour y introduire l'irrigation au goutte-à-goutte. Il a aussi fini de construire sa maison et a acheté des meubles supplémentaires. « De temps en temps, je peux même emmener ma famille dîner au restaurant », a-t-il dit.

Près de 80 % de la superficie totale cultivée à Maurice sont alimentés par les eaux pluviales. N'ayant guère de ressources financières à investir dans des systèmes d'aspersion ou des barrages d'irrigation coûteux, les agriculteurs comme Chumroo avaient l'habitude de transporter l'eau dans des bidons, ce qui demandait beaucoup de travail et entraînait un gaspillage. Pour ne rien arranger, a dit Vencatasamy, les précipitations annuelles ont diminué notablement à Maurice au cours des dix dernières années, ce qui a réduit le rendement des cultures et la productivité des petits agriculteurs.

L'agriculture entre déjà pour 70 % dans la consommation totale d'eau douce. D'ici à 2050, les besoins globaux en eau de l'agriculture devraient augmenter à nouveau de 50 % pour répondre à la demande d'une population en expansion, selon l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). Il est crucial pour le développement durable d'améliorer l'efficacité d'utilisation de l'eau.

La 'fertigation': association eau-engrais

Pour optimiser encore les rendements des cultures et conserver les ressources, les agriculteurs appliquent de plus



en plus une technique qui fournit aux plantes des engrais mélangés à l'eau, processus connu sous le nom de 'fertigation'. On applique un engrais contenant un isotope de l'azote sur une petite parcelle de terre par fertigation en vue de déterminer l'efficacité d'absorption par les plantes de l'engrais et de l'eau et d'optimiser la quantité requise, a expliqué Lee Kheng Heng, chef de la Section de la gestion des sols et de l'eau et de la nutrition des plantes à la Division mixte FAO/AIEA des techniques nucléaires dans l'alimentation et l'agriculture. Grâce à cette technique, on peut économiser jusqu'à la moitié des engrais utilisés traditionnellement tout en obtenant les mêmes résultats, a-t-elle dit.

« Réduire la quantité d'engrais utilisés aide à protéger les personnes et l'environnement contre la pollution, car ainsi il y a moins de chances pour que des engrais résiduels s'infiltrent dans les eaux souterraines ou polluent les rivières et les fleuves voisins », a dit Heng. L'AIEA a mis cette technique à la disposition des agents agricoles et des agriculteurs participant aux 19 projets faisant appel à l'irrigation au goutte-à-goutte dans toute l'Afrique.

Quelques résultats :

- ❶ **Kenya** : mise au point d'un petit système bon marché d'irrigation au goutte-à-goutte qui a multiplié par 2,8 le rendement de tomates cultivées en champ tout en n'exigeant que 45 % de l'eau utilisée par arrosage manuel traditionnel.
- ❷ **Tanzanie** : le recours à l'irrigation au goutte-à-goutte a permis d'obtenir des rendements en thé quatre fois supérieurs à ceux des plantations pluviales non irriguées.
- ❸ **Soudan** : l'irrigation au goutte-à-goutte a économisé 60 % de l'eau d'irrigation et accru le rendement en oignons de 40 % par rapport à l'irrigation de surface. Le système est maintenant adopté par les agriculteurs de nombreux villages situés au nord et au sud de Kassala, dans l'est du Soudan.



Irrigation au goutte-à-goutte au Kenya.

(Photo : L. Heng/AIEA)

LA SCIENCE

Les isotopes de l'azote dans la gestion des sols

Les techniques isotopiques et nucléaires jouent un rôle important et sans pareil dans l'évaluation de l'état de l'eau et de sa circulation dans le sol, ce qui est indispensable pour élaborer des stratégies de gestion durable de l'eau dans l'agriculture et pour utiliser avec succès des méthodes d'irrigation moins coûteuses et plus efficaces comme l'irrigation au goutte-à-goutte.

Les engrais azotés ont joué un rôle déterminant dans l'accroissement de la productivité agricole pour atténuer l'insécurité alimentaire. Ils sont toutefois coûteux dans de nombreux pays. En outre, beaucoup de cultures n'utilisent pas efficacement l'azote et en laissent plus de 50 % dans le sol.

La fertigation sert à déterminer où vont les engrais une fois qu'ils ont été appliqués de manière à donner une idée de l'efficacité avec laquelle les plantes utilisent les nutriments provenant des engrais. Les chercheurs utilisent des engrais marqués à l'azote 15, isotope stable de l'azote, sur une petite parcelle dans une station expérimentale ou dans un champ d'un agriculteur. L'azote 15 a une masse moléculaire différente de celle du reste du mélange d'engrais, ce qui permet aux chercheurs de le suivre à mesure qu'il pénètre dans le sol et dans la plante. Sur cette base, ils peuvent déterminer la quantité d'engrais à utiliser et la meilleure méthode d'application. La recette idéale est alors transférée aux agriculteurs.

Hors de leur vue, mais dans leur esprit : le Brésil s'emploie avec ses voisins à protéger un des plus grands réservoirs d'eaux souterraines de la planète

Par Nicole Jawerth

Entouré de mystère, l'avenir du plus grand réservoir d'eaux souterraines d'Amérique latine suscitait auparavant des préoccupations parmi les chercheurs, les universitaires et les politiciens du Brésil, de l'Argentine, du Paraguay et de l'Uruguay quant au sort de leur principale ressource en eau douce. Grâce aux indices recueillis à l'aide de techniques nucléaires, le Brésil et ses voisins connaissent bien maintenant l'aquifère Guarani et peuvent être assurés que grâce à leur nouveau cadre de protection et d'utilisation durable, l'eau de l'aquifère continuera à couler pendant encore au moins 200 ans.



Sous des terres fertiles luxuriantes, l'aquifère Guarani s'étend sur plus de 1,2 million de kilomètres carrés et approvisionne la région en eau douce pour la boisson, l'agriculture et le tourisme.

(Photo : M. R. Caetano-Chang/UNESP)

En recourant à l'hydrologie isotopique, une technique nucléaire (voir encadré), les quatre pays ont analysé et évalué l'aquifère en vue de déterminer l'âge, l'origine et l'évolution des eaux souterraines ainsi que leur qualité et le risque de contamination. « Ces études ont beaucoup contribué au projet en permettant de dresser un tableau intégré de l'ensemble de l'aquifère, ce qui a aidé à interpréter de nombreuses constatations géologiques, hydrochimiques et hydrogéologiques », a déclaré Hung Kiang Chang, professeur à l'Institut des géosciences et des sciences exactes (IGCE) de l'Université d'État de São Paulo.

Caché sous des terres fertiles luxuriantes, l'aquifère s'étend sur plus de 1,2 million de kilomètres carrés – soit trois fois la superficie de la mer Caspienne. Avec des réserves de plus de 37 000 kilomètres cubes d'eau douce dans les pores et

les fissures de ses grès datant de quelque 200 à 130 millions d'années, il constitue une source d'eau de boisson et alimente l'industrie, les réseaux d'irrigation agricoles et le tourisme thermal dans la région.

« Ce sont des ressources transfrontières incroyables en eaux souterraines qui existent depuis des centaines de milliers d'années », a dit Chang. « L'aquifère influence la vie de millions de gens. Sa disparition aurait un impact énorme. »

L'aquifère est particulièrement important pour le Brésil, car ce pays consomme environ 90 % du milliard de mètres cubes d'eau extraits au total chaque année, dont dépendent 14 millions de gens, a ajouté Chang.

L'impact de la civilisation

Bien que l'aquifère demeure en grande partie intacte, la civilisation a eu de sérieuses répercussions sur cette réserve d'eau. « La nature a doté la région d'abondantes ressources en eau, mais celles-ci ne sont pas suffisantes pour satisfaire indéfiniment à tous les besoins de la société moderne », a déclaré Chang. « La consommation d'eau augmente et la population s'accroît, et, dans certaines zones, une pollution incontrôlée et une utilisation non réglementée de l'eau peuvent poser une menace », a-t-il expliqué. « En outre, le changement climatique influera fortement sur les précipitations et l'évapotranspiration dans les zones de réalimentation de l'aquifère », a-t-il fait observer.

Les conséquences de la surexploitation et de la pollution compromettent l'approvisionnement local en eau en raison de mauvaises conditions sanitaires, qui, à moyen terme, pourront provoquer un déséquilibre écologique dû, par exemple, à des proliférations bactériennes dans des puits mal réglementés lors de leur forage, a déclaré Gerônimo Rocha, qui a pris récemment sa retraite comme coordonnateur de l'Unité de préparation de l'État de São Paulo pour le projet relatif à l'aquifère Guarani.

Jusqu'à une date récente, les quatre pays ne disposaient pas des informations dont ils avaient besoin pour connaître les impacts de la civilisation sur l'aquifère et le meilleur moyen de le protéger et de l'utiliser durablement. Ils ont donc mis sur pied conjointement le projet pour la protection



environnementale et le développement durable du système aquifère Guarani, aussi appelé projet Guarani.

« La principale motivation derrière le projet était d'ordre technique », a indiqué Rocha. Les questions qui se posaient étaient celles des débits et de la quantité d'eau renouvelable, de la façon dont la pollution ou la contamination influait sur l'aquifère, des zones de réalimentation et d'émergence ainsi que de l'âge et de la composition chimique de l'eau, a-t-il dit. Outre les discussions sur l'exploitation non réglementée des eaux souterraines, « ces questions et d'autres étaient à la base des préoccupations », a-t-il déclaré.

Avec le soutien de plusieurs organisations internationales, dont l'AIEA, le projet visait à exploiter les études scientifiques et techniques en vue de comprendre l'aquifère et les mesures nécessaires pour le protéger et l'utiliser durablement. Les pays ont élaboré des politiques de protection et de gestion durable de l'aquifère qui tenaient compte également des dimensions institutionnelles, juridiques et environnementales.

Déterminer l'âge de l'eau

Le projet relatif à l'aquifère Guarani s'est déroulé de 2003 à 2009, et le Plan d'action stratégique qui en est résulté a été publié en 2011. Bien que le projet ait permis de constituer une base de données très complète sur l'aquifère, « il y a encore du travail à faire pour recueillir des informations supplémentaires sur l'aquifère et ses caractéristiques hydrologiques », a déclaré Luis Araguás-Araguás, spécialiste de l'hydrologie isotopique à l'AIEA.

Depuis, les quatre pays ont entrepris plusieurs projets complémentaires, dont un est mené actuellement par l'AIEA avec le Brésil et l'Argentine pour étudier plus avant l'âge de l'aquifère à l'aide de l'hydrologie isotopique. Ce projet a révélé jusqu'ici que dans les parties centrales de l'aquifère l'âge des eaux pourrait atteindre 800 000 ans.



Dans le passé, la gestion de l'eau dans la région était axée principalement sur les eaux superficielles, malgré le rôle important joué par les sources d'eaux souterraines. « Aujourd'hui, après le projet, le public a davantage conscience des menaces réelles et potentielles qui pèsent sur l'aquifère », a déclaré Rocha. « La perception qu'a le public de l'importance de l'aquifère est essentielle pour sa bonne gestion. »

LA SCIENCE

Hydrologie isotopique

Les molécules d'eau sont porteuses d'empreintes uniques dépendant de leur teneur en différentes proportions d'isotopes, éléments chimiques dont les atomes ont le même nombre de protons mais un nombre différent de neutrons dans le noyau. Les isotopes peuvent être naturels ou artificiels. Les radio-isotopes sont instables et libèrent constamment une énergie appelée radioactivité à mesure qu'ils décroissent pour retrouver un état stable. Les chercheurs peuvent mesurer la durée au bout de laquelle la moitié des radio isotopes se sont désintégrés, laquelle est appelée période radioactive. S'ils connaissent la teneur en isotopes de l'eau ou d'autres substances, les chercheurs peuvent déterminer l'âge des roches et de l'eau contenant ces radio-isotopes.

Les isotopes stables ne se désintègrent pas et restent constants pendant tout leur séjour dans l'eau. Les chercheurs utilisent les différentes teneurs en isotopes des eaux superficielles et souterraines pour déterminer divers facteurs et processus, notamment l'origine et l'histoire de l'eau, la pluviosité actuelle et passée, la réalimentation des aquifères, le mélange et les interactions entre les masses d'eau, les processus d'évaporation, les ressources géothermiques et les processus de pollution.

Les mesures de protection de l'eau et la participation de la communauté accroissent la durabilité de l'extraction d'uranium en Tanzanie

Par Miklos Gaspar

Tout est en place pour l'extraction d'uranium en République-Unie de Tanzanie à la suite des modifications apportées récemment au cadre réglementaire du pays conformément aux recommandations de l'AIEA. Les considérations environnementales et la participation de la communauté locale au contrôle de la procédure d'octroi de licence et des opérations futures contribueront à la durabilité du projet, ont déclaré des responsables tanzaniens et des experts de l'AIEA.



Échantillonnage de roches uranifères sur le site de la rivière Mkuju, en Tanzanie.

(Photo : H. Tulsidas/AIEA)

La Tanzanie, qui a identifié des ressources en uranium s'élevant à quelque 60 000 tonnes, compte commencer à extraire de l'uranium en 2016 afin d'exploiter ses gisements dans le cadre des plans du pays visant à porter la contribution du secteur minier au produit intérieur brut de 3,3 % en 2013 à 10 % d'ici à la fin de la décennie. Maintenant que ses réserves d'or et de diamants sont en voie d'épuisement, le pays se tourne vers l'uranium. « Le moment est maintenant venu pour le pays de

tirer parti de ses gisements d'uranium », a déclaré Iddi Mkilaha, Directeur général de la Commission tanzanienne de l'énergie atomique.

À la suite d'une analyse préliminaire, le gouvernement a identifié une demi douzaine de sites offrant de bonnes possibilités minières et a délivré des licences de prospection. Des études de faisabilité récentes ont identifié un site exploitable commercialement à brève échéance, a dit Mkilaha, mais comme les prix de l'uranium ont baissé par la suite et que les négociations se poursuivent avec des compagnies minières étrangères, les travaux miniers n'ont pas encore commencé.

Le gouvernement a sollicité le concours de l'AIEA pour mettre sa législation et ses procédures pertinentes en conformité avec les normes de sûreté et environnementales et faire en sorte que de bonnes pratiques soient appliquées avant que les opérations d'extraction commencent, a indiqué Mkilaha. « Nous souhaitons que la population tanzanienne en tire des avantages et nous nous sommes rendus compte que nous n'avions pas la législation appropriée en place pour assurer l'extraction, le traitement et le transport dans des conditions de sûreté. Maintenant, nous l'avons », a-t-il dit.

L'examen a porté sur les questions de réglementation, de santé, de sûreté et d'environnement et sur la durabilité des opérations. L'équipe a fait plusieurs suggestions sur le cadre réglementaire afin que les activités minières soient menées conformément aux normes de l'AIEA et aux bonnes pratiques internationales, en particulier dans les domaines de la santé, de la sûreté et de l'environnement, a expliqué Harikrishnan Tulsidas, le spécialiste de la technologie nucléaire de l'AIEA qui dirige le projet tanzanien.

Une approche intégrée

Grâce à l'apport de l'AIEA, le gouvernement a adopté une approche plus intégrée de la question de l'extraction d'uranium et introduit des règlements environnementaux, en particulier dans le domaine de la protection de l'eau, a dit Mkilaha. « Nous n'avions pas pris conscience auparavant de l'importance du contrôle des cours d'eau et des eaux souterraines autour des futures zones d'extraction », a-t-il déclaré, en ajoutant qu'à la suite du projet de l'AIEA, des mesures de référence avaient été effectuées pour établir les teneurs de l'eau en différentes substances minérales et

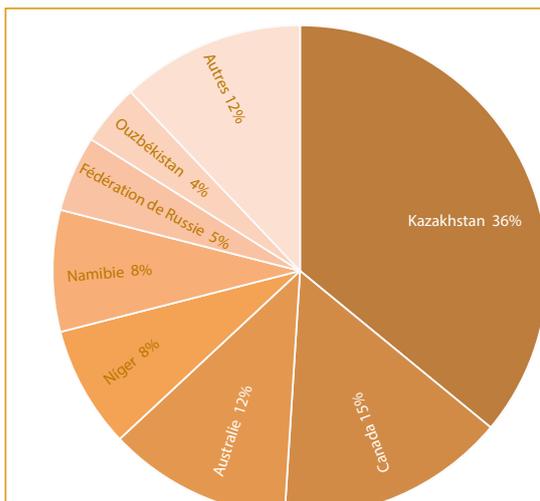


chimiques. « Nous pourrions contrôler les activités en faisant des comparaisons avec ces valeurs », a-t-il dit.

Les experts et les responsables tanzaniens ont en outre appris l'importance qu'il y avait d'obtenir à l'avance l'adhésion de la communauté locale, a déclaré Mkilaha. « Nous nous sommes rendus compte qu'une participation de la communauté nous permettrait de réduire l'opposition éventuelle au projet. »

Les autorités ont dialogué avec la population locale dans le cadre d'une série de réunions, notamment au sujet des possibilités d'emploi, a dit Mkilaha. L'équipe de recherche procédant à la prospection d'uranium « a déjà employé des travailleurs locaux, et la communauté voit dans le projet une opportunité économique pour la région », a-t-il déclaré. À la suite des recommandations faites par l'AIEA, le gouvernement a, en consultation avec les responsables de la communauté, établi un plan de contrôle de l'environnement et créé un comité consultatif communautaire, présidé par un représentant local, pour le contrôle continu des opérations, notamment en ce qui concerne la durabilité environnementale.

Dans le cadre de l'examen, on a en outre préconisé de séparer clairement les responsabilités au sein du gouvernement, de façon que son rôle en matière de réglementation ne soit pas compromis par sa participation comme partenaire stratégique. « Il existait un risque et un conflit d'intérêts éventuels dans le dispositif initial », a dit Tulsidas. Comme suite aux recommandations, la fonction réglementaire du Ministère de la communication, de la science et de la technologie a été renforcée, et des unités fonctionnelles spécialisées ont été créées à la fois dans ce ministère et dans celui de l'énergie et des ressources minérales.



Production d'uranium en 2012 : 58 816 tonnes

Source : AIEA

Une deuxième vie pour les déchets miniers

Les experts de l'AIEA ont en outre aidé la Tanzanie à concevoir des plans pour extraire l'uranium des résidus des terrils des mines d'or et de phosphates. « On les considérait avant comme des déchets, mais maintenant nous voyons comment on peut les utiliser à des fins économiques », a déclaré Tulsidas.

Maintenant que le prix de l'uranium remonte et que les négociations avec les investisseurs progressent, la première mine deviendra probablement opérationnelle en 2016 dans la région de la rivière Mkuju à quelque 470 kilomètres au sud-ouest de la capitale Dar es Salaam, a dit Mkilaha.

Hugo Cohen Albertini a également contribué à cet article.

LA SCIENCE

Extraction de l'uranium

Comme d'autres minéraux, l'uranium est généralement extrait à ciel ouvert lorsque le minerai est proche de la surface et par exploitation souterraine lorsqu'il est plus profond. Son extraction souterraine exige une ventilation intense pour réduire l'exposition des travailleurs au radon, gaz engendré par le processus naturel de décroissance de l'uranium.

En général, la teneur en uranium du minerai va d'environ quelques centaines de parties par million à 20 %. Dans les mines classiques, le minerai est transporté jusqu'aux usines de traitement, où les oxydes d'uranium sont séparés du minerai. Lorsque la géologie le permet, on peut injecter des substances chimiques dans le sol pour dissoudre l'uranium dans le cadre de ce que l'on appelle les opérations de

récupération *in situ*. En injectant des solutions faiblement alcalines, à base par exemple d'hydrogénocarbonate de sodium, ou, à l'inverse, des solutions acides dans le minerai par des conduites, les mineurs séparent l'uranium du minerai et remontent le mélange obtenu à la surface par pompage pour récupérer l'uranium.

Près de 60 000 tonnes d'uranium sont produites tous les ans dans le monde. Le Kazakhstan, le Canada et l'Australie sont les trois principaux producteurs et assurent ensemble les deux tiers de la production mondiale d'uranium (voir graphique).

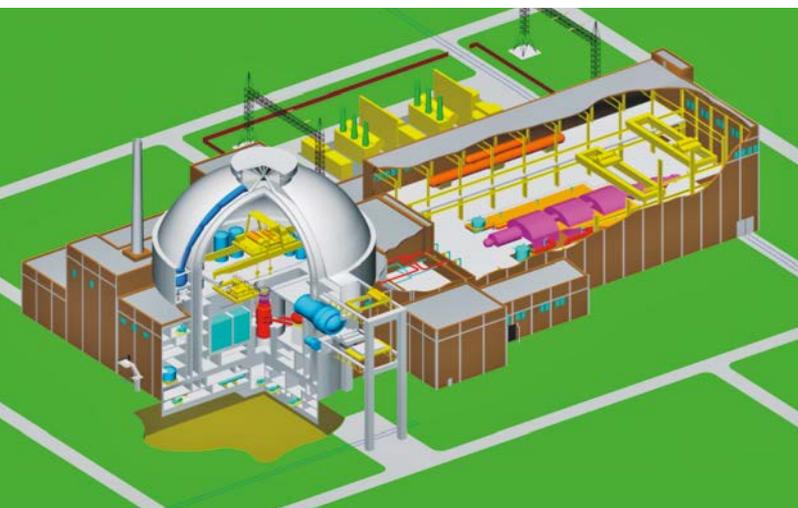
Vers une énergie sûre et sécurisée en Turquie

Par Adem Mutluer

L'électronucléaire jouera un rôle clé dans la stratégie énergétique future de la Turquie, qui s'efforce d'assurer la sécurité de ses approvisionnements tout en relevant le défi consistant à limiter les émissions contribuant au changement climatique.

La demande d'électricité de l'économie en plein essor de la Turquie augmente tous les ans de plus de 5 %, alors que le pays est tributaire de ressources importées pour 73 % de ses besoins énergétiques actuels. Le nouveau programme électronucléaire de la Turquie vise à fournir au moins 10 % de l'énergie du pays d'ici à 2023, selon la Direction générale des affaires énergétiques du Ministère de l'énergie et des ressources naturelles de la République turque.

Cette stratégie énergétique prévoit la mise en service de deux centrales nucléaires comptant huit tranches au total d'ici à 2028 et la mise en chantier d'une troisième centrale d'ici à 2023, a déclaré Emine Birnur Fertekligil, représentante de la Turquie auprès de l'AIEA. « Les applications pacifiques de la technologie nucléaire sont très importantes, non seulement en matière énergétique, mais aussi dans d'autres domaines du développement durable. »



Plan d'un réacteur VVER-1200 à eau sous pression. Il est prévu de construire quatre tranches similaires à Akkuyu.

(Image : Gidropress)

Adoption des mesures requises

La Turquie s'est tournée vers l'AIEA pour obtenir des conseils et une assistance à propos de l'adoption des mesures requises pour mettre en place un programme électronucléaire sûr, a

dit Fertekligil. « Dans le développement de son programme électronucléaire, la Turquie est résolue à progresser en veillant à ce qu'il soit sûr, sécurisé et soumis aux garanties », a-t-elle indiqué.

En 2013, le service d'examen intégré de l'infrastructure nucléaire (INIR) de l'AIEA a fourni une équipe d'experts internationaux pour aider la Turquie à évaluer son état de préparation au développement d'un programme électronucléaire. La mission, qui a porté sur 25 institutions turques, a formulé des recommandations et suggestions et identifié plusieurs bonnes pratiques.

« La mission INIR de 2013 a fait des recommandations judicieuses que la Turquie a mises à profit pour l'élaboration d'un plan national d'action », a déclaré Necati Yamaç, chef du département chargé de la mise en œuvre du projet relatif à l'énergie nucléaire au Ministère de l'énergie et des ressources naturelles. « Amender des lois existantes ou en établir de nouvelles demandent énormément de préparation et, dans le cas de la Turquie, cela a pris environ deux ans. La mission INIR a déclenché des discussions entre divers ministères et nous a aidé à trouver des approches et des concepts nouveaux », a-t-elle dit.

Les missions INIR sont destinées à aider les États Membres de l'AIEA à mesurer les progrès qu'ils ont accomplis pour ce qui est de satisfaire aux exigences d'un programme électronucléaire sûr et sécurisé. Elles examinent tous les aspects d'un programme électronucléaire, depuis la mise en place d'un organisme de réglementation et autres exigences juridiques jusqu'à la compagnie exploitant une centrale nucléaire et aux parties prenantes gouvernementales qui sont concernées.

Un regard dans le miroir

Un des avantages d'une mission INIR réside dans l'autoévaluation à laquelle procède le pays avant le début de la mission.

Une autoévaluation est un processus utile, car il comporte des interactions et des discussions entre les organismes impliqués dans le développement de l'infrastructure, a déclaré Anne Starz, chef par intérim de la Section du génie électronucléaire à l'AIEA. Dans le cas de la Turquie, 25 organismes étaient concernés, a-t-elle ajouté.

Ce processus nous « a aidé à comprendre à quel point le gouvernement joue encore un rôle important, même dans un projet CEP [construction-exploitation-propriété] », a déclaré



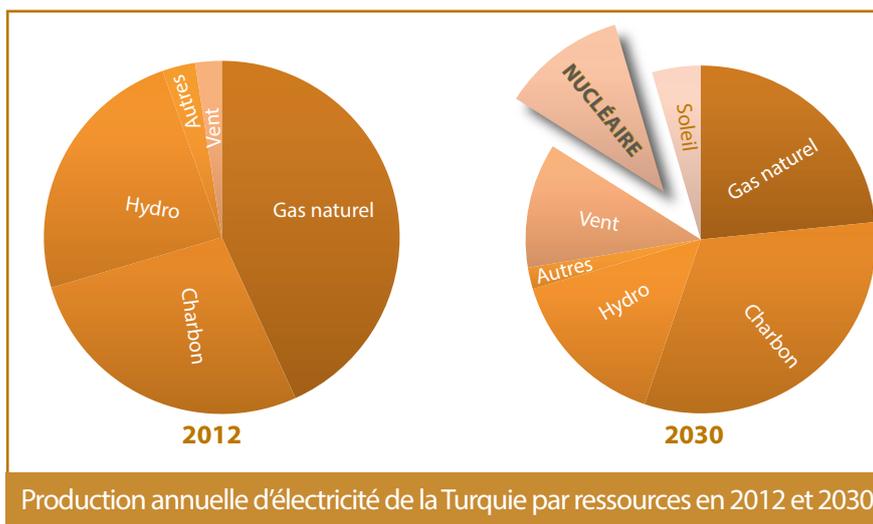
Yamaç. L'approche CEP pour le développement d'un programme électronucléaire signifie que la centrale du pays hôte sera entièrement la propriété des investisseurs, qui fournissent à la fois les fonds et la technologie.

La voie menant à un programme électronucléaire

Sur la voie qui la mène à sa première centrale nucléaire, la Turquie a déjà mis en œuvre quatre plans relatifs à l'introduction de l'électronucléaire. Le premier à la fin des années 1970, lorsqu'un site a été autorisé à Akkuyu, sur la côte orientale de la Méditerranée, et le dernier en 2008, lorsque la Turquie a lancé un appel d'offres.

En 2010, la Turquie et la Fédération de Russie ont signé un accord pour la construction et l'exploitation d'une centrale nucléaire sur le site d'Akkuyu et, trois ans plus tard, un accord intergouvernemental a été signé avec le Japon pour l'établissement d'un deuxième projet de centrale nucléaire sur le site de Sinop, sur la mer Noire.

Tout récemment, en plus de la mission INIR, les projets de lois de la Turquie sur l'énergie nucléaire ont été examinés par l'AIEA. La loi nucléaire turque porte sur la sûreté, la sécurité et les garanties. Une loi distincte sur la responsabilité civile en matière de dommages nucléaires a été soumise à l'AIEA pour examen en août 2014.



Source : Z. Demircan/GDEA, TEIAS

À mesure que la Turquie progresse dans la voie d'un programme électronucléaire, elle cherche à apprendre d'autres pays. En organisant un certain nombre de visites techniques dans d'autres pays recourant à l'énergie nucléaire, la Turquie pourra se faire une meilleure idée des défis qui se posent dans le domaine de la technologie nucléaire et des moyens d'y faire face, a déclaré Yamaç. « Étudier l'expérience d'autres pays constitue un bon moyen d'apprendre pour nous », a-t-il dit.

Peter Rickwood a également contribué à cet article.

LA SCIENCE

Centrale nucléaire

Une centrale nucléaire produit de l'électricité en mettant à profit la chaleur fournie par des réactions nucléaires en chaîne contrôlées – processus en vertu duquel une réaction nucléaire unique entraîne ensuite une série d'autres réactions nucléaires aboutissant à la libération de grandes quantités d'énergie. Les réactions se produisent à l'intérieur du réacteur nucléaire, dispositif conçu pour déclencher et maîtriser une réaction nucléaire en chaîne continue. Il existe de nombreux types de réacteurs nucléaires. Chacun a une conception différente et recourt à différents mécanismes, eau ou gaz, pour produire de l'électricité.

Le type de réacteur qui sera utilisé dans la centrale nucléaire turque sur le site d'Akkuyu est un réacteur de puissance refroidi et modéré par eau (VVER). Ce type de réacteur utilise la chaleur produite par la réaction nucléaire en chaîne pour chauffer de l'eau circulant à travers un compartiment séparé à l'intérieur du réacteur. Une fois chauffée, cette eau est pressurisée et pompée à travers des centaines ou des milliers

de tubes dans un générateur de vapeur où elle réchauffe un compartiment adjacent contenant de l'eau. Cela fait bouillir l'eau adjacente et produit de la vapeur. L'eau chauffée par le réacteur retourne à son compartiment dans le réacteur pour repasser par ce cycle, tandis que la vapeur est envoyée à des turbines qui actionnent des alternateurs couplés à un réseau de distribution d'électricité. Après son passage dans la turbine, la vapeur est refroidie pour repasser à l'état liquide dans un condenseur et le cycle recommence. L'électricité produite par ce procédé est appelée 'électricité nucléaire'.

Mieux vaut prévenir que guérir : accroissement de la sûreté dans la gestion des déchets radioactifs

Par Miklos Gaspar

Auparavant, Abderrahim Bouih s'inquiétait d'un manque de la place éventuel. Chargé de la gestion des déchets radioactifs du Maroc depuis 2006, il avait prévu depuis longtemps que la seule installation du pays pour les déchets radioactifs serait pleine d'ici à 2019. Grâce à une nouvelle méthodologie que lui-même et ses collègues ont apprise dans le cadre d'un projet de l'AIEA, ils peuvent maintenant démanteler les détecteurs de fumée, les paratonnerres et d'autres déchets contenant des matières radioactives en séparant en toute sécurité les composants radioactifs du métal et en réduisant ainsi sensiblement la quantité de déchets radioactifs à entreposer.

« Nous avons condensé 60 fûts de déchets en deux seulement », a indiqué Bouih, chef de l'Unité de collecte, de traitement et d'entreposage des déchets radioactifs au Centre national marocain de l'énergie, des sciences et des techniques nucléaires. « Il s'ensuit que notre site ne sera pas plein avant 16 ans encore. »



Travailleur plaçant des sources radioactives dans un conteneur de transport avant leur expédition en France.

(Photo : C. Roughan/AIEA)

Du berceau au tombeau

Les sources radioactives sont largement utilisées à travers le monde entier dans des secteurs très divers, dont l'industrie, la construction, la médecine, l'agriculture et la recherche. L'adoption d'une approche intégrée de la gestion des sources radioactives 'du berceau au tombeau' renforce la sûreté et la sécurité et permet aux pays de surmonter les limitations à l'obtention de sources radioactives auprès des fournisseurs.

« Il est vital que les sources radioactives soient étiquetées et enregistrées convenablement à leur lieu d'origine et que des mécanismes de contrôle appropriés soient en place pour en suivre la trace pendant tout leur cycle de vie, depuis le

fabricant jusqu'à l'utilisateur et finalement à leur stockage définitif en toute sécurité », a déclaré Juan Carlos Lentijo, Directeur de la Division du cycle du combustible nucléaire et de la gestion des déchets de l'AIEA. Le moment le plus critique dans le cycle de vie des sources radioactives est « celui où elles n'ont plus de valeur et deviennent un fardeau pour l'utilisateur », a-t-il dit.

Le Maroc a des milliers d'articles contenant des déchets de faible activité. Bouih et ses collègues reçoivent régulièrement des appels des autorités et des sociétés de tout le pays pour qu'ils collectent leurs déchets. « La semaine prochaine, nous nous rendrons dans un vieil hôtel pour y collecter 200 détecteurs de fumée », a-t-il dit. Les détecteurs de fumée et les paratonnerres de vieille génération ont souvent une petite source radioactive comme composant actif du dispositif.

Retour en France pour traitement

Autre résultat de sa collaboration avec l'AIEA, le Maroc, pour la toute première fois, renverra en France l'an prochain trois appareils de radiothérapie anciens qui étaient utilisés en imagerie médicale en vue de leur traitement. « Être en mesure d'offrir une solution sûre pour nos déchets radioactifs a constitué un pas important pour nous », a déclaré Bouih. Les composants radioactifs utilisés dans les appareils de radiothérapie sont généralement plus dangereux pour la santé humaine et l'environnement et peuvent en outre être plus vulnérables au vol et à une utilisation abusive s'ils ne sont pas gérés de manière sûre que la majorité des sources plus bénignes utilisées dans les applications industrielles et la recherche. Le Maroc, comme la plupart des autres pays n'ayant pas d'industrie nucléaire, n'est pas équipé comme il convient pour gérer les déchets de haute activité. L'AIEA a pris les dispositions voulues pour le processus de rapatriement, en a assuré le suivi et l'a supervisé.

Entreposage sûr des sources radioactives au Monténégro

Au Monténégro, autre pays qui a participé au projet, les experts de l'AIEA et les responsables locaux se sont occupés l'an dernier de 98 des sources radioactives du pays dans le cadre d'un exercice conjoint. Cela a permis au personnel du Centre monténégrin de recherche écotoxicologique de s'initier aux techniques nécessaires pour désassembler les sources radioactives et les entreposer de manière sûre grâce à un processus appelé 'conditionnement', a déclaré Tamara Djurovic, chef du Département de la protection contre



les rayonnements et le bruit et de la protection de l'air au Ministère monténégrin du développement durable et du tourisme.

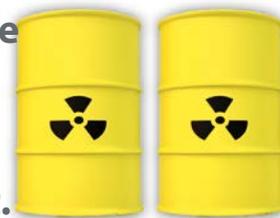
La plupart des déchets radioactifs dont le Monténégro doit s'occuper résultent d'utilisations militaires, a-t-elle expliqué. Le pays doit, par exemple, démanteler plus de 7 000 boussoles militaires, a-t-elle dit. Ces boussoles contiennent du radium, et le Centre attend la décision définitive du gouvernement avant de commencer à les conditionner. « En attendant son feu vert, nous avons pu remballer nos sources et empêcher le rejet de radon », a-t-elle dit. « Les sources sont maintenant en sûreté dans des fûts en acier inoxydable. »

Le pays, qui est des États Membres les plus récents de l'AIEA, a en outre approuvé une nouvelle politique pour la manutention des matières radioactives en toute sûreté, à la suite d'un cours organisé par l'AIEA sur la question à l'intention des responsables. « Après le cours, nous avons été en mesure de réajuster notre stratégie et l'élaboration de nos politiques concernant la gestion de ces sources », a-t-elle dit.

Harmonisation des politiques dans l'ensemble de la région méditerranéenne

Le Maroc et le Monténégro participent tous deux à un projet interrégional exécuté de 2012 à 2015 en vue d'aider les pays de la région méditerranéenne à instituer un contrôle adéquat et permanent sur leurs sources radioactives. Ce projet a favorisé l'adoption d'une approche harmonisée conforme aux normes de sûreté de l'AIEA et à d'autres meilleures pratiques

**Au Maroc,
60 fûts
de déchets radioactifs de
faible activité tiennent
maintenant dans
2 fûts seulement.**



internationales. Il vise à définir et établir des politiques et des approches coordonnées pour le contrôle et le mouvement des sources radioactives et a en outre contribué au renforcement des capacités en matière de réglementation et de gestion. Par ailleurs, le projet a favorisé la coopération entre les pays de la région pour le traitement de questions d'intérêt commun au sujet de l'utilisation de la Méditerranée comme voie de transport pour des substances radioactives.

Adem Mutluer a aussi contribué à cet article.

LA SCIENCE

Conditionnement des sources

Le conditionnement constitue la première grande étape dans la gestion des sources radioactives, matières radioactives artificielles utilisées dans l'industrie, en médecine, en agriculture et dans la recherche. Il aboutit à un colis se prêtant à la manutention, à l'entreposage, au transport ou au stockage définitif des matières.

La technique la plus simple permet de gérer la source sans la retirer de son dispositif ou de son blindage originel en plaçant le dispositif porte-source dans du béton. Cette opération peut être rendue réversible ou irréversible selon qu'il s'agit d'un entreposage provisoire ou d'un stockage définitif.

Une technique plus élaborée consiste à retirer la source de son dispositif originel et à la mettre – éventuellement avec d'autres – dans une nouvelle capsule en acier inoxydable conçue à cette fin. La capsule est habituellement placée dans un conteneur spécial de déchets.



Vérification du niveau de radioactivité d'une capsule contenant des sources au césium 137 conditionnées. (Photo : J. Balla/AIEA)

Rendre le monde plus sûr, un réacteur de recherche à la fois

Par Adem Mutluer

Dans la nuit du 29 septembre 2014, un avion gros-porteur a décollé d'une base aérienne au Kazakhstan après une opération d'enlèvement du combustible et de renforcement de la sécurité d'un réacteur de recherche.

Dans sa soute se trouvaient quatre conteneurs massifs, fournis par l'AIEA et emportant au total 10,2 kilogrammes d'uranium hautement enrichi (UHE) vers la Russie pour y être transformés en une substance sûre par dilution ou entreposés en toute sécurité.



Le réacteur de recherche d'Alatau, au Kazakhstan.

(Photo : P. Chakrov/Institut de physique nucléaire)

Cette opération était la dernière en date menée dans le cadre d'un programme mondial impliquant l'AIEA, la Fédération de Russie et les États-Unis qui vise à aider plusieurs pays, dont le Kazakhstan, à éliminer les risques liés à l'UHE, tout en préservant les importantes recherches scientifiques effectuées dans le réacteur. L'UHE constitue un risque pour la sécurité, car c'est un ingrédient qui peut être utilisé pour obtenir un dispositif nucléaire destiné à des fins malveillantes. On n'encourage pas à utiliser de l'UHE dans un réacteur de recherche, car on peut employer à sa place de l'uranium faiblement enrichi (UFE), qui est plus sûr (voir encadré). Dans les années 1960 et 1970, quand nombre des réacteurs de recherche existant dans le monde ont été construits, la technologie faisant appel à l'UFE n'était pas encore disponible, en sorte que l'on avait besoin d'UHE pour effectuer les expériences. À partir de l'an prochain, on utilisera de l'UFE, moins sensible du point de vue de la

prolifération, pour alimenter le réacteur de recherche à eau ordinaire d'Alatau près d'Almaty, la plus grande ville du Kazakhstan.

La recherche se poursuit

« Je ne doute pas que le réacteur poursuivra ses travaux actuels après la conversion », a déclaré Petr Chakrov, Directeur général par intérim de l'Institut de physique nucléaire d'Alatau. « Nous pensons en outre que le nouveau cœur nous permettra dorénavant de produire deux fois plus de divers radio-isotopes médicaux et autres », a-t-il dit en se référant à la partie du réacteur contenant les éléments combustibles dans lesquels se produisent les réactions nucléaires.

Le réacteur à eau ordinaire de 6 mégawatts d'Alatau est utilisé à diverses fins, notamment pour la recherche scientifique, la production d'isotopes à usage médical et les essais de matériaux utilisés dans l'industrie. Il produit par exemple du molybdène 99, radio-isotope important utilisé dans 70 % des actes de médecine nucléaire dans le monde entier, soit des dizaines de millions d'actes médicaux chaque année (voir l'article à ce sujet, page 12).

Avant que la conversion à l'utilisation d'UFE ne débute, les chercheurs du réacteur ont effectué des études post-irradiation de combustible à l'UFE afin de déterminer si le réacteur se prêtait à une telle conversion. L'AIEA a fourni les équipements nécessaires pour ces recherches, a expliqué Chakrov. En analysant des spécimens irradiés à différentes doses et en modélisant les conditions dans lesquelles l'UFE serait utilisé dans le réacteur après la conversion, les chercheurs ont confirmé que le réacteur se prêtait à l'utilisation d'UFE de manière sûre et gérable, a-t-il dit.

« L'acquisition de ces équipements par l'AIEA était absolument indispensable pour que le projet soit exécuté et pour nous persuader d'aller de l'avant », a dit Chakrov.

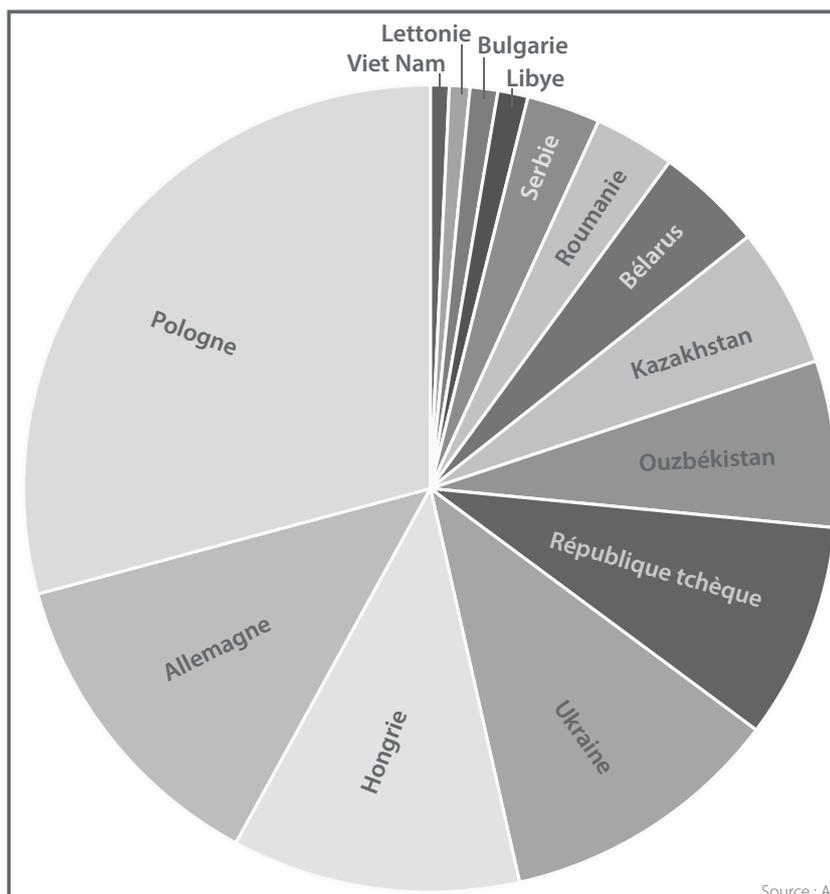
Enlèvement progressif

Les conteneurs emportés dans l'avion en septembre ne constituent qu'un des lots de combustible à rapatrier d'Alatau. En juillet 2015, le réacteur sera provisoirement mis à l'arrêt afin qu'il puisse refroidir pendant six mois. Durant cette période, le système de contrôle commande du réacteur sera remplacé en prévision du changement de combustible. En janvier 2016, le réacteur redémarrera avec de l'UFE.



« En raison des risques posés par l’UHE, plus de 2 150 kilogrammes d’UHE fournis par l’ex-Union soviétique ont été rapatriés en Fédération de Russie en 60 expéditions provenant de 14 pays dans le cadre de l’Initiative tripartite entre la Russie, les États-Unis et l’AIEA, souvent appelée Programme de renvoi du combustible d’origine russe pour réacteurs de recherche (voir graphique) », a déclaré Sandor Tozser, ingénieur nucléaire à la Section des réacteurs de recherche de l’AIEA. « L’AIEA fait fonction d’administrateur et fournit le savoir faire technique et les équipements nécessaires », a-t-il expliqué. Le rapatriement du combustible à l’UHE du réacteur d’Alatau s’inscrit dans le cadre de ce programme.

Peter Rickwood a également contribué à cet article.



Source : AIEA

Répartition par pays de l’UHE rapatrié en Russie dans le cadre du Programme de renvoi du combustible d’origine russe pour réacteurs de recherche à la fin de 2014.

LA SCIENCE

Enrichissement de l’uranium

Auparavant, on utilisait de l’uranium hautement enrichi dans les réacteurs de recherche à des fins scientifiques. L’uranium est un élément naturel, alors que l’uranium 235 (^{235}U) et l’uranium 238 (^{238}U) sont des isotopes de cet élément, c’est-à-dire qu’ils ont le même nombre de protons que l’uranium, mais un nombre différent de neutrons. Lorsque l’uranium est extrait du sol, il contient 0,7 % seulement de ^{235}U , qui est l’élément fissile, et 99,3 % de ^{238}U , qui est stable et ne subit pas de réactions nucléaires. Enrichir l’uranium, c’est accroître la proportion de ^{235}U dans la masse. Les centrales nucléaires en service utilisent généralement de l’uranium ayant un taux d’enrichissement compris entre 4 % et 7 %. L’enrichissement peut être assuré par différents moyens faisant tous appel à la méthode de la séparation isotopique, qui consiste à concentrer des isotopes particuliers d’un élément chimique en

éliminant les autres isotopes. Dans le cas présent, la séparation isotopique sert à accroître la concentration de ^{235}U dans une masse d’uranium. La méthode la plus courante et la plus efficace pour y parvenir est d’utiliser une centrifugeuse, dispositif spécialisé mettant un objet en rotation autour d’un axe fixe pour tirer parti de la différence de masse atomique entre ^{238}U et ^{235}U . Lorsque les centrifugeuses tournent, elles séparent le ^{235}U du ^{238}U , en permettant de continuer à accroître la concentration du ^{235}U , c’est-à-dire l’enrichissement. Par ce procédé, on peut obtenir différents taux d’enrichissement en ^{235}U ; pour autant, le processus n’est pas aisé et demande du temps, des connaissances spécialisées et de l’argent. L’uranium enrichi à plus de 20 % en ^{235}U est considéré comme de l’UHE.

Protection du patrimoine culturel de la Roumanie à l'aide de la technologie nucléaire

Par Aabha Dixit

La préservation du patrimoine artistique et culturel est une ambition partagée de la communauté mondiale. Le passé jouant un rôle important dans la compréhension du mode de vie d'un peuple, le père Ioan d'une église orthodoxe du village d'Izvoarele sur les flancs sud des montagnes des Carpates en Roumanie souhaitait désespérément sauver la cloison d'icônes du XIX^e siècle que l'on révérait dans sa paroisse. Confronté à une situation terrible lorsqu'il a remarqué des insectes à l'intérieur de son église, le père Ioan a cherché secours auprès d'une source qui était loin d'être évidente – le radiotraitement – pour prévenir toute nouvelle attaque des parasites.



Le rayonnement gamma a été utilisé pour éradiquer les insectes qui détruisaient l'iconostase de l'église des Saints Voïvodes Michel et Gabriel du XIX^e siècle dans le village d'Izvoarele. À la suite du traitement, des artisans locaux ont redonné toute sa splendeur à cette précieuse œuvre d'art.

(Photo : A. Socolov/Institut national Horia Hulubei de physique et de génie nucléaire)

Les vers à bois grignotaient cette œuvre d'art sacrée, appelée iconostase, dans la vieille église du hameau pittoresque de 800 foyers, à 120 kilomètres au nord de Bucarest. « Je me devais de faire quelque chose. J'ai commencé par injecter des solutions chimiques dans les trous d'insectes. Les icônes étant épaisses, la solution injectée ne pénétrait pas assez profondément jusqu'à la source de l'attaque par les insectes et était sans effet. C'est la raison pour laquelle j'ai envisagé une meilleure solution », a dit le père Ioan.

Il a apporté l'iconostase au Centre IRASM de radiotraitement à Bucarest, où le personnel l'a accueilli avec stupéfaction. « Il avait entendu parler de nous à la télévision. Il s'est présenté seul à notre porte, sans avoir appelé à l'avance », a raconté Valentin Moise, Directeur du Centre, qui fait partie de l'Institut national Horia Hulubei de physique et de génie nucléaire.

La méthode classique pour éradiquer des insectes comme les vers à bois consiste à injecter un poison sous forme gazeuse ou liquide dans chaque trou créé par l'insecte et à sceller ensuite les trous avec de la cire. Le poison devrait parvenir jusqu'à la zone où les insectes subsistent et se reproduisent ; or, souvent, les insectes ne sont pas entièrement éradiqués. Le traitement chimique est un processus long et coûteux qui expose en outre les gens à des émanations dangereuses. Par comparaison, le radiotraitement exige un temps de traitement plus court, n'est pas coûteux et élimine complètement les insectes.

La Roumanie est un des 18 États Membres de l'AIEA à avoir bénéficié d'un appui pour le renforcement des techniques d'irradiation et d'analyse en Europe dans le cadre de projets de l'AIEA. Ce soutien a provoqué une augmentation notable du nombre et des types d'artefacts du patrimoine culturel qui ont été analysés et traités, a déclaré Sunil Sabharwal, un spécialiste du radiotraitement de l'AIEA. Les procédures vont de la désinfection d'églises en bois et de livres anciens à la caractérisation de bijoux, de toiles tissées et de pièces. La coopération aux fins de la caractérisation et de la préservation d'artefacts par application de la science et de la technologie nucléaires constitue un objectif important des projets de l'AIEA portant sur la préservation du patrimoine culturel, a dit Sabharwal.

Reliques et moisissures, insectes et bactéries

En vue de préserver les antiquités historiques du pays, les chercheurs roumains recourent régulièrement aux rayons gamma pour le traitement d'artefacts. Placée dans une piscine de six mètres de profondeur au Centre IRASM de radiotraitement de Bucarest, la puissante source de rayons gamma, lorsqu'elle est activée, peut détruire les bactéries, les insectes et les moisissures (voir encadré). Les rayons gamma font merveille pour préserver des artefacts en détruisant les « agresseurs biologiques », a expliqué Moise.

Les rayonnements sont de plus en plus utilisés pour la préservation. « Nous avons commencé à protéger notre patrimoine culturel il y a 30 ans lorsqu'il n'existait pas encore de grandes installations d'irradiation en Roumanie », a dit Moise. « Grâce à cette technologie, nous avons pu désinfecter un certain nombre d'objets anciens allant de livres religieux vieux de 500 ans infestés par des moisissures aux précieuses icônes de l'église orthodoxe d'Izvoarele. »

Avant d'irradier les artefacts, on soumet ces délicats morceaux d'histoire à des investigations qui permettent de déterminer l'étendue et la nature de la contamination, les solutions

chimiques utilisées lors de restaurations passées et la dose exacte de rayonnement requise, a expliqué Moïse.

« Un des principaux problèmes que nous avons est de convaincre le monde des arts que les rayonnements ne détruisent pas les artefacts, car la technologie utilisée est inoffensive. Ils font une confusion quand ils entendent le mot rayonnements », a déclaré Moïse. « Les rayonnements n'endommagent pas les précieux artefacts ; ceux-ci ne deviennent pas radioactifs, et le traitement est rapide et efficace. »

Des peintures, des vêtements et des instruments de musique ont également été traités avec succès par irradiation gamma. Les experts de l'IRASM ont traité l'ensemble de la collection du Musée Theodor Aman de Bucarest, qui avait dû être fermé en 2004 à cause de l'humidité à l'origine d'une contamination par des moisissures et d'autres agents biologiques de ses objets anciens. Après une rénovation complète, le musée a été rouvert en 2013.

« De nombreux artefacts sont faits de matières biologiques naturelles. Ils sont exposés à une biodégradation lorsqu'ils deviennent une source de nourriture pour des insectes et des micro-organismes », a déclaré Corneliu Ponta, l'ancien chef du Centre IRASM de radiotraitement, qui a joué un rôle déterminant dans la décontamination par le Centre à l'aide des rayons gamma des artefacts du Musée Theodor Aman.



Ci-dessus : une iconostase dégradée par une infestation d'insectes dans l'église Source de guérison du XX^e siècle, dans le village d'Izvoarele, a été traitée par irradiation gamma avant sa réparation par des restaurateurs d'art locaux.

(Photo : C. Ponta/Institut national Horia Hulubei de physique et de génie nucléaire)



À gauche : une icône endommagée appartenant à la collection de 33 icônes en bois du Complexe muséologique national de la Moldova qui a été envoyée au Centre de radiotraitement de l'IRASM.

(Photo : Complexe muséologique national de la Moldova)

LA SCIENCE

Le rayonnement gamma protège les artefacts culturels

Le rayonnement gamma, aussi appelé rayons gamma, est un rayonnement électromagnétique de fréquence extrêmement haute. Il est émis sous la forme de photons de haute énergie, particules élémentaires qui ont des propriétés ondulatoires.

Les rayons gamma sont un type de rayonnement ionisant. Aux niveaux de doses utilisés pour protéger les artefacts culturels, ce type de rayonnement ionisant inhibe la reproduction des microbes à la température ambiante sans aucun contact physique et offre ainsi une meilleure solution que les méthodes classiques de décontamination basées sur un traitement thermique ou chimique. Les ondes électromagnétiques de haute fréquence et de haute énergie interagissent avec

des composants critiques des cellules. Et à ces niveaux de doses, elles peuvent altérer l'ADN de manière à inhiber la reproduction des cellules.

Le traitement des artefacts culturels par irradiation est analogue à celui appliqué pour la stérilisation des instruments médicaux. Les artefacts du patrimoine culturel sont exposés au rayonnement gamma d'une source au cobalt 60 dans l'installation d'irradiation.

Initiative sur les utilisations pacifiques : aperçu de projets en cours et futurs

En ayant apporté avec succès un appui à plus de 170 projets dont ont bénéficié plus de 130 États Membres, l'Initiative sur les utilisations pacifiques a constitué un mécanisme efficace de mobilisation de ressources supplémentaires pour répondre aux besoins des États Membres. L'AIEA espère poursuivre cette initiative en vue d'étendre encore les bienfaits des utilisations pacifiques de la science et de la technologie nucléaires en favorisant la réalisation des grands objectifs de développement.

On trouvera ci-après un aperçu de quelques-uns des principaux projets actuels et futurs appuyés par cette initiative, pour lesquels des contributions financières supplémentaires sont nécessaires.

Pour de plus amples informations, voir : www.iaea.org/newscenter/focus/peaceful-uses-initiative

Gestion intégrée et durable des ressources en eau dans la région du Sahel

Durée : 2012-2016, avec possibilité de prolongation

Budget estimatif : 5,8 millions d'euros

Les ressources en eau douce diminuent dans la région du Sahel, qui couvre 13 pays, de l'Afrique de l'Ouest à l'Afrique centrale et à l'Afrique du Nord. Il est indispensable de gérer efficacement les ressources en eau existantes dans ces pays pour assurer un approvisionnement adéquat en eau dans la région.

Ce projet vise à aider les États Membres en question à élaborer des approches intégrées et durables pour la gestion des ressources en eau. Il permet de dispenser une

formation à des spécialistes, d'acquérir du matériel et des services de laboratoire ainsi que d'organiser des missions consultatives d'experts sur le terrain. Financé par le Fonds de coopération technique (FCT) et par des contributions extrabudgétaires obtenues dans le cadre de l'Initiative, le projet a débuté en 2012 et a permis depuis d'atteindre des objectifs d'étape importants, par exemple d'établir un rapport technique préliminaire à la suite des premières campagnes d'échantillonnage et de renforcer les capacités d'institutions et de spécialistes nationaux dans l'utilisation des techniques nucléaires pour évaluer les ressources en eau.

Pour de plus amples informations, voir : www.iaea.org/technicalcooperation/Home/Highlights-Archive/Archive-2013/03222013_World_Water_Day_Sahel.html

Renforcement de la capacité régionale de l'Afrique pour le diagnostic de maladies zoonotiques émergentes ou réémergentes, y compris la maladie à virus Ebola

Durée : 2015-2019

Budget estimatif : 5,8 millions d'euros

À la suite de l'épidémie la plus étendue et la plus complexe de la maladie à virus Ebola au début de 2014 en Afrique de l'Ouest, la communauté internationale a reconnu que l'Afrique devait bénéficier d'un soutien pour développer les capacités régionales en ce qui concerne la prise en charge des maladies zoonotiques émergentes ou réémergentes – c'est-à-dire des maladies qui peuvent être transmises des animaux aux humains et qui, si elles ne sont pas prises en charge comme



Photo : D. Calma/AIEA



Photo : D. Calma/AIEA

il convient, peuvent conduire à des épidémies régionales et mondiales.

Ce projet d'une durée de quatre ans prévoit de renforcer les capacités régionales de l'Afrique au moyen de mécanismes de détection rapide et de stratégies d'échange d'informations diagnostiques et épidémiologiques au sein d'un réseau régional. Il vise à dispenser des formations, à fournir des avis d'expert et à développer l'infrastructure aux fins de l'application d'un système de contrôle, de suivi et de surveillance, y compris du matériel de diagnostic.

Pour de plus amples informations, voir : www.iaea.org/sites/default/files/pui Ebola.pdf

Des laboratoires à la communauté mondiale : rénovation des Laboratoires des applications nucléaires (ReNuAL)

Durée : 2014-2017

Budget estimatif : 31 millions d'euros

Pendant plus de 50 ans, huit laboratoires d'applications nucléaires ont, à Seibersdorf, en Autriche, dispensé des formations spécialisées, appuyé la recherche-développement et fourni des services d'analyse afin d'aider les États Membres à utiliser la science et la technologie nucléaires pour répondre à leurs besoins nationaux et relever des défis mondiaux, dans des domaines allant de la production et de la santé animales à la science nucléaire et aux techniques d'analyse. Mais en l'absence de modernisation importante depuis leur création en 1962, les laboratoires ne sont plus à même de s'acquitter de leurs fonctions pour répondre à l'augmentation et à l'évolution des besoins des États Membres.

Ce projet, appelé ReNuAL, qui a débuté le 1^{er} janvier 2014, prévoit la construction de nouveaux bâtiments, la modernisation des bâtiments existants, des mises à niveau de l'infrastructure et l'acquisition de nouveaux équipements de laboratoire pour remplacer les instruments vieillissants ou dépassés.

Pour de plus amples informations, voir : www.naweb.iaea.org/na/renual/index.html

Renforcement du développement de l'infrastructure électronucléaire

Durée : 2011-2015, avec projet complémentaire éventuel de 2016 à 2020

Budget estimatif : 1,5 million d'euros

Une trentaine de pays envisagent maintenant d'inclure l'électronucléaire dans leur bouquet énergétique ou ont déjà décidé d'entreprendre un programme électronucléaire. Les pays qui évaluent cette option ou qui se sont déjà lancés dans l'élaboration d'un programme électronucléaire se tournent vers l'AIEA pour obtenir des conseils et un soutien.

Ce projet prévoit de renforcer et développer encore les documents d'orientation, les méthodologies et les services d'examen ainsi que d'offrir des possibilités de partager les données d'expérience et les enseignements tirés. Il vise à aider et à guider les pays primo accédants, en particulier les pays à revenu faible et intermédiaire, dans la mise en place d'infrastructures électronucléaires sûres et durables. Il est financé par l'intermédiaire de l'Initiative sur les utilisations pacifiques et, dans certains cas, des activités complémentaires le sont au titre du Fonds de coopération technique.

Pour de plus amples informations, voir : www.iaea.org/OurWork/ST/NE/Main

Détermination et évaluation des capacités de lutte contre le cancer

Durée : en cours

Budget estimatif pour 2015 : 450 000 euros

Les cas de cancer sont en forte augmentation dans le monde alors que les pays à revenu faible et intermédiaire sont souvent mal équipés pour prendre cette maladie en charge

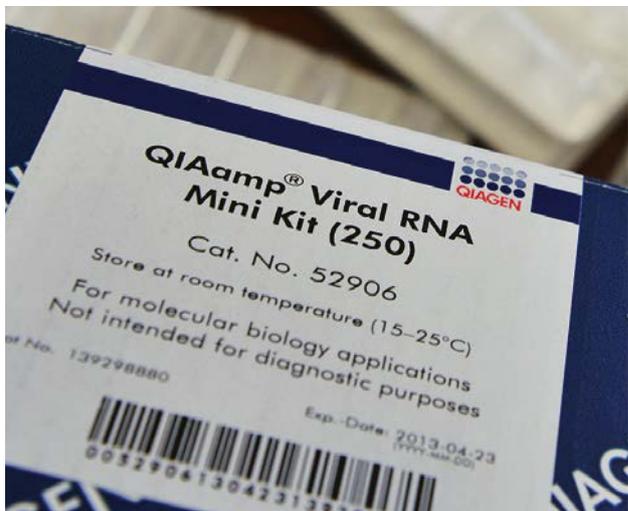


Photo : D. Calma/AIEA



Photo : D. Calma/AIEA

efficacement et répondre aux besoins des patients. Les pays donnant de plus en plus la priorité au traitement du cancer et à la lutte contre cette maladie, nombre d'entre eux font appel au Programme d'action en faveur de la cancérothérapie (PACT) et aux missions intégrées du PACT (imPACT) dans le cadre du programme de coopération technique de l'AIEA. Les missions d'examen imPACT évaluent les capacités nationales d'un pays en matière de lutte contre le cancer dans le cadre d'une approche globale de la maîtrise de cette maladie et formulent des recommandations sur la façon de remédier aux lacunes constatées et de renforcer leurs capacités de lutte contre le cancer.

Pour de plus amples informations, voir :
www.iaea.org/technicalcooperation/PACT/index.html

Des fonds de l'Initiative sur les utilisations pacifiques ont financé des missions imPACT dans 26 États Membres depuis 2010. La majorité de ces missions ont été effectuées dans des pays à revenu faible et intermédiaire. Elles ont notamment aidé ces pays à élaborer des plans et des programmes nationaux de lutte contre le cancer et ont ouvert la voie à la création de centres nationaux de traitement de cette maladie équipés pour le diagnostic et la thérapie ainsi que d'un effectif adéquat de spécialistes formés. En 2015, il est prévu d'effectuer des missions d'examen imPACT dans six États Membres.



Photo : ENEC



Photo : P. Pavlicek/AIEA

lutte contre la pollution atmosphérique radiopharmaceutiques
préservation radio-isotopes production durable d'uranium
l'atome sélection des plantes par mutation
rayonnement gamma amélioration des variétés végétales amélioration
protection d'artéfacts culturels irrigation au goutte-à-goutte
lutte contre la pollution atmosphérique traitement du cancer
amélioration de la nutrition et de la santé protection d'artéfacts
pour hydrologie isotopique gestion des sols sélection des
plantes par mutation radio-isotopes
rayonnement gamma réduction de l'érosion des sols gestion des déchets
conservation des eaux souterraines mesure de la composition corporelle
contrôle de la radioactivité éradication de la mouche tsé-tsé radio-isotopes
sélection des plantes par mutation hydrologie isotopique rayonnement gamma
réduction de l'érosion des sols diagnostic du cancer enrichissement
la paix de l'uranium protection d'artéfacts culturels
amélioration de la nutrition et de la santé
contrôle de la radioactivité gestion des sols
gestion des sols mesure de la composition corporelle radio-isotopes
irrigation au goutte-à-goutte diagnostic du cancer enrichissement de
l'uranium hydrologie isotopique amélioration de la nutrition et de la santé
sélection des plantes par mutation gestion des sols
et éradication de la mouche tsé-tsé préservation rayonnement gamma
radiopharmaceutiques médecine nucléaire électronucléaire
sélection des plantes par mutation conservation des eaux
souterraines plantes par mutation radio-isotopes
rayonnement gamma réduction de l'érosion des sols gestion des déchets
conservation des eaux souterraines mesure de la composition corporelle
le développement