

# IAEA BULLETIN

AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE

La publication phare de l'AIEA | Septembre 2017



## Les techniques nucléaires dans le domaine de la santé humaine

prévention, diagnostic et traitement

**Le Chili utilise les techniques nucléaires pour lutter contre l'obésité infantile p. 6**

**Les avancées en médecine nucléaire : entretien avec Satoshi Minoshima sur l'utilisation de l'imagerie moléculaire aux fins du diagnostic de la démence p. 10**

**Des organismes des Nations Unies lancent un programme mondial commun de lutte contre le cancer du col de l'utérus p. 18**



60 ans

IAEA *L'atome pour la paix et le développement*

Et aussi :  
Infos AIEA



### 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

Rédaction : Miklos Gaspar  
Rédactrice en chef : Aabha Dixit  
Conception et production : Ritu Kenn

Le Bulletin de l'IAEA est disponible à l'adresse  
suivante :  
[www.iaea.org/bulletin](http://www.iaea.org/bulletin)

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 : A. Schlosman/AIEA

Suivez-nous sur :



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 1957 en tant qu'organe autonome, l'IAEA est le seul organisme des Nations Unies à être spécialisé dans les technologies nucléaires. Ses laboratoires spécialisés uniques au monde aident au transfert de connaissances et de compétences à ses États Membres dans des domaines comme la santé humaine, l'alimentation, l'eau, l'industrie 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, dans laquelle sont publiées des 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 de criminels, ou que des installations nucléaires soient la cible d'actes malveillants.

Les normes de sûreté de l'IAEA définissent 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, y compris le déclassement.

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

Les tâches de l'IAEA sont multiples et font intervenir un large éventail de partenaires aux niveaux 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 de Trieste (Italie).

# Les techniques nucléaires peuvent contribuer à améliorer la santé humaine

Par Yukiya Amano, Directeur général de l'AIEA

Depuis leurs débuts, dans les années 1930, les techniques nucléaires ont immensément contribué au bien-être humain et sauvé des dizaines de millions de vies. Aujourd'hui, elles jouent un rôle croissant dans le diagnostic et le traitement des principales maladies non transmissibles, notamment le cancer et les cardiopathies.

Les objectifs de développement durable (ODD) adoptés par des dirigeants du monde entier en 2015 incluent l'engagement de « permettre à tous de vivre en bonne santé et promouvoir le bien-être de tous à tout âge. » La science nucléaire peut apporter une contribution significative à la réalisation de cet objectif. L'AIEA est déterminée à aider ses États Membres à utiliser la science et la technologie nucléaires afin de réduire d'un tiers le nombre de décès dus à des maladies non transmissibles d'ici 2030, ce qui est une cible-clé des ODD.

Le cancer et les maladies cardiovasculaires, premières causes de mortalité dans le monde, sont à l'origine de 26,5 millions de décès sur les 56,4 millions comptabilisés en 2015. Or, les techniques nucléaires peuvent apporter des améliorations considérables dans ce domaine.

L'imagerie médicale et la radiothérapie constituent en effet des outils précieux pour le diagnostic, la prise en charge et le traitement du cancer. Ces dernières décennies, les technologies des rayonnements sont également devenues indispensables à la lutte contre les maladies cardiovasculaires, tandis que diverses techniques isotopiques sont utilisées pour améliorer la nutrition.

## Vers l'égalité en matière d'accès

Il existe des inégalités considérables dans l'accès aux techniques nucléaires. Dans les pays développés, plus de la moitié des cancers sont guéris, grâce à un diagnostic précoce et à un traitement efficace. Dans les pays en développement, en revanche, le cancer est

souvent diagnostiqué trop tard pour qu'un traitement soit efficace.

C'est pourquoi l'AIEA et des partenaires tels que l'Organisation mondiale de la Santé s'emploient à remédier à cette situation. Nous aidons les pays à mettre au point des programmes de lutte globale contre le cancer, à mettre en place des installations de médecine nucléaire, de radio-oncologie et de radiologie, et à appuyer l'enseignement et la formation des professionnels de santé. En d'autres termes, nous travaillons à la création de capacités pour améliorer la vie de millions de personnes. Nous contribuons également à garantir la sûreté des patients, qui doivent recevoir la dose adéquate de rayonnements, ainsi que celle du personnel médical et technique, qui doit être protégé contre toute exposition nocive.

Le Forum scientifique 2017 de l'AIEA présente les bénéfices multiples des techniques nucléaires pour la santé humaine. La présente édition du Bulletin de l'AIEA met l'accent sur les nombreuses utilisations de ces techniques. Le Chili, par exemple, a modifié son programme national de nutrition pour y inclure l'utilisation des techniques nucléaires en vue de réduire l'obésité infantile (lire en page 6). Vous découvrirez le rôle de l'imagerie moléculaire dans le diagnostic de la démence (lire en page 10) et comment des pays comme le Cambodge (lire en page 8) et le Bangladesh (lire en page 12) utilisent la médecine radiologique dans la prise en charge du cancer. L'AIEA contribue à la sûreté grâce à l'assurance de la qualité et à l'audit dosimétrique (lire en page 14), et en s'assurant que la dose appropriée est administrée en vue d'un diagnostic exact (lire en page 20).

Je ne doute pas que la présente édition du Bulletin de l'AIEA permettra au lecteur de mieux comprendre, d'une part, l'application des techniques nucléaires dans le domaine de la santé humaine et, d'autre part, l'importance des activités menées par l'AIEA pour permettre l'accès à tous à cette science remarquable.

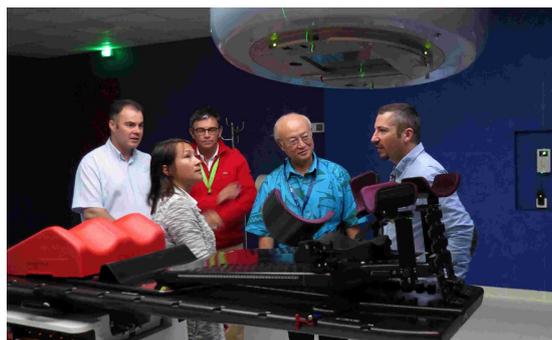


**« L'AIEA est déterminée à aider ses États Membres à utiliser la science et la technologie nucléaires afin de réduire d'un tiers le nombre de décès dus à des maladies non transmissibles d'ici 2030, ce qui est une cible-clé des ODD. »**

— Yukiya Amano,  
Directeur général de l'AIEA



(Photo : C. Brady/AIEA)



(Photo : C. Brady/AIEA)



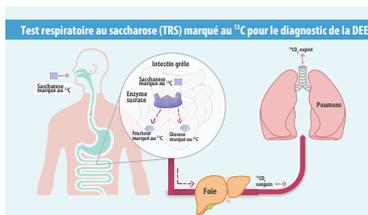
(Photo : S. Kamishima (AIEA))

## Avant-propos



**1 Les techniques nucléaires peuvent contribuer à améliorer la santé humaine**

## Prévenir les maladies en améliorant la nutrition



**4 Utilisation des techniques faisant appel aux isotopes stables pour étudier le lien entre la santé intestinale et la croissance infantile**



**6 Le Chili utilise les techniques nucléaires pour lutter contre l'obésité infantile**

## Voir au-delà du visible : les nouvelles frontières des techniques de diagnostic



**8 Cambodge : le rêve « fou » d'un médecin devient réalité grâce à une nouvelle installation pour les soins anticancéreux**



**10 Les avancées en médecine nucléaire : entretien avec Satoshi Minoshima sur l'utilisation de l'imagerie moléculaire aux fins du diagnostic de la démence**

## Répondre aux difficultés de mise en œuvre dans les pays



**12 Aplanir les obstacles à la médecine nucléaire au Bangladesh**

**14 L'AIEA promeut l'assurance de la qualité grâce à des audits cliniques et dosimétriques complets**

Radiothérapie : sauver la vie des personnes atteintes d'un cancer et améliorer leur qualité de vie grâce à de nouvelles approches



**16 La Jordanie étend ses activités de prise en charge du cancer à la théragnostique, procédure de nanomédecine avancée**



**18 Des organismes des Nations Unies lancent un programme mondial commun de lutte contre le cancer du col de l'utérus**

Garantir la qualité et la sûreté



**20 Une dose adéquate pour un diagnostic précis : suivi des doses de rayonnements administrées aux patients et utilisation de niveaux de référence diagnostique**



**22 Albanie : un traitement radiothérapeutique amélioré avec l'appui de l'AIEA**

Dans le monde



**24 La collaboration de tous est indispensable pour gagner le combat contre le cancer**

— Par Kim Simplis Barrow, première dame du Belize

La voix de l'AIEA



**25 L'appui de l'AIEA dans le domaine de la santé humaine**

— Par May Abdel-Wahab, directrice de la Division de la santé humaine de l'AIEA

Infos AIEA

**26 Bénin : des agriculteurs triplent leurs rendements et améliorent leurs conditions de vie grâce à une technique isotopique**

**28 Une nouvelle appli aide les services douaniers à améliorer la détection des rayonnements aux fins de la sécurité nucléaire**

**30 Conclusions relatives aux garanties nucléaires présentées dans le rapport sur l'application des garanties pour 2016**

**32 Publications de l'AIEA**

# Utilisation des techniques faisant appel aux isotopes stables pour étudier le lien entre la santé intestinale et la croissance infantile

Par Jeremy Li

Une grande partie de la population des pays à revenu faible et intermédiaire vit dans un environnement caractérisé par une eau insalubre et de mauvaises conditions d'assainissement et d'hygiène, qui participent au retard de croissance chez les enfants. Cela s'explique par une modification néfaste des processus intestinaux, qui entraîne une mauvaise absorption des nutriments nécessaires à la croissance et à d'autres fonctions. Ce dysfonctionnement, d'abord appelé « entéropathie environnementale », est aujourd'hui plus largement désigné par le nom de « dysfonction entérique environnementale » (DEE), qui reflète la multiplicité de ses manifestations et de ses effets.

Un nouveau projet de recherche coordonné de l'AIEA, approuvé en novembre 2016, devrait permettre de mettre au point un outil non invasif basé sur les techniques utilisant les isotopes stables et conçu afin de diagnostiquer la DEE, en vue de mieux comprendre l'incidence à long terme de ce dysfonctionnement entérique particulier sur la croissance et la santé infantiles dans les pays à revenu faible et intermédiaire. Neuf pays à revenu élevé ou faible et intermédiaire participent à ce projet, soit en tant qu'experts techniques, dans le cas des pays développés, soit en tant qu'acteurs de la mise en application des résultats de la recherche, dans le cas des pays à revenu faible et intermédiaire.

« Il est primordial de mettre au point des méthodes précises, applicables sur le terrain et non invasives pour diagnostiquer cette maladie », déclare Victor Owino, nutritionniste à l'AIEA. Les techniques nucléaires faisant appel aux isotopes stables ont l'avantage de pouvoir être utilisées pour analyser de nombreux aspects de la DEE. (Voir l'encadré « En savoir plus »)

Le projet étudie les effets de la DEE sur la croissance infantile et plus généralement sur la santé de populations spécifiques, à l'aide d'une technique faisant appel aux isotopes stables : le test respiratoire au saccharose marqué au carbone 13 ( $^{13}\text{C}$ ). Cette méthode a déjà servi à étudier la fonction intestinale, sans lien avec la DEE. L'évaluation était alors basée sur l'utilisation de saccharose naturellement riche en  $^{13}\text{C}$  (extrait du maïs).

Le maïs et le sucre de canne étant, dans les pays à revenu faible et intermédiaire, des produits de grande consommation déjà riches en saccharose contenant du  $^{13}\text{C}$ , l'utilisation de ces aliments n'est peut-être pas appropriée. C'est pourquoi il est prévu de mettre au point un test respiratoire au saccharose enrichi en  $^{13}\text{C}$  et d'en tester l'exploitabilité.

Ce test est fondé sur un principe simple : dans l'intestin, une enzyme des bordures en brosse, appelée « saccharase »,

décompose le saccharose en glucose et en fructose. L'oxydation et la consommation de ces molécules par le corps entraînent la production de dioxyde de carbone 13 ( $^{13}\text{CO}_2$ ) et d'eau. Dans des circonstances anormales, comme dans le cas de la DEE, l'activité enzymatique de la saccharase, et donc la production de  $^{13}\text{CO}_2$ , peut être réduite. À l'inverse, chez les sujets en bonne santé, un fonctionnement intestinal normal est caractérisé par la libération d'une quantité élevée de  $^{13}\text{CO}_2$  à l'expiration, peu de temps après l'ingestion de saccharose marqué au  $^{13}\text{C}$ . (Voir l'infographie.)

« L'emploi de cette méthode pourrait être généralisé notamment grâce à la mise sur le marché de saccharose hautement enrichi en isotopes stables  $^{13}\text{C}$  synthétiques », explique Victor Owino.

Quatre experts d'Australie, des États-Unis d'Amérique (États-Unis) et du Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord (Royaume-Uni) travaillent au perfectionnement du test respiratoire au saccharose marqué au  $^{13}\text{C}$  existant à l'aide de saccharose hautement enrichi en  $^{13}\text{C}$ , comme décrit ci-dessus, et à la validation du test par la biopsie, afin d'identifier le dysfonctionnement intestinal spécifique à la DEE.

## Première étude sur la DEE et ses effets de long terme sur la croissance faisant appel à des isotopes stables

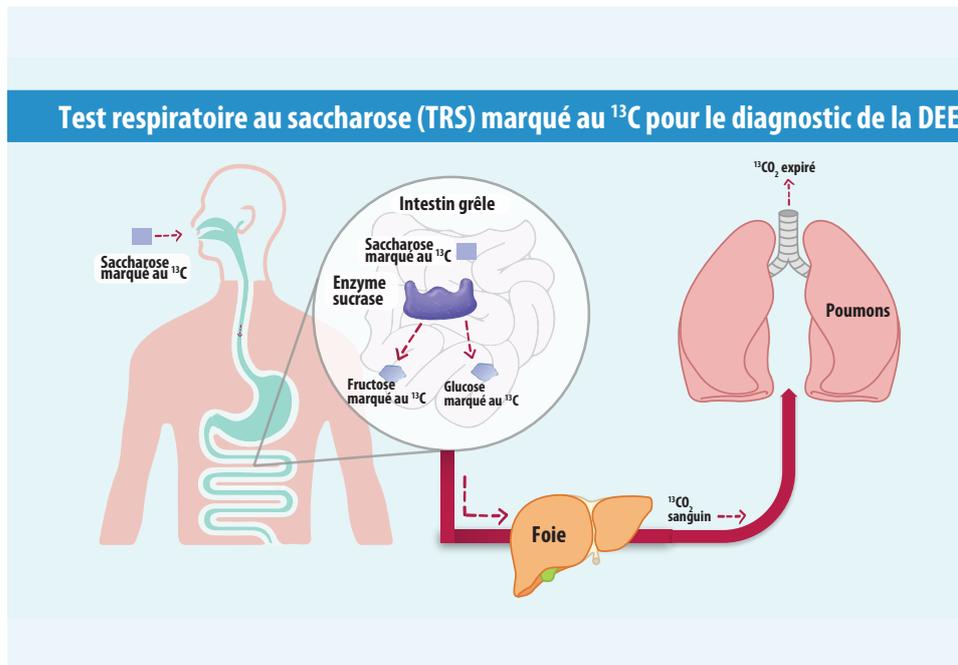
En 2015, l'AIEA a accueilli une réunion technique pour faire le point sur les connaissances d'alors relatives à la DEE et envisager des interventions de prévention et de traitement de la maladie. « Il a été conclu notamment qu'il était nécessaire de mener davantage d'études longitudinales pour mieux comprendre les causes fondamentales de la DEE, et de mettre au point un test à faible coût applicable à grande échelle », indique Victor Owino.

Dans le cadre de la nouvelle étude, pour la première fois, les effets à long terme de la DEE sur les enfants seront mesurés. « Les enfants seront soumis à de nouveaux tests, trois et six mois après le test initial, ce qui permettra de suivre l'évolution de leur croissance sur cette période », explique Victor Owino.

Des chercheurs du Bangladesh, d'Inde, de Jamaïque, du Kenya, du Pérou et de Zambie participent à l'étude. Une fois le test suffisamment perfectionné, ils l'utiliseront pour détecter la DEE chez les enfants et déterminer son incidence à long terme sur la croissance.

Au mois de novembre, l'AIEA organisera une réunion destinée aux parties prenantes et aux titulaires de contrats techniques ou de recherche des pays participants, afin d'harmoniser le protocole, d'élaborer des plans et de discuter des détails logistiques relatifs aux études longitudinales. Les experts d'Australie, des États-Unis et du Royaume-Uni présenteront en détail les progrès réalisés en matière d'optimisation et de validation du test respiratoire au saccharose marqué au  $^{13}\text{C}$ .

En outre, les experts de l'AIEA ont co-écrit deux articles scientifiques sur la DEE précisant la nature de la maladie, ses effets sur l'état nutritionnel infantile et la santé, et l'usage pouvant être fait des isotopes stables pour diagnostiquer et traiter cette pathologie ainsi que ses répercussions sur la santé. Ces articles ont été publiés dans des revues de renommée mondiale, *Pediatrics* (décembre 2016) et *Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition* (février 2017), et tous deux ont été cités dans un article récapitulatif rédigé par des membres du personnel de l'AIEA sur l'utilisation des isotopes stables dans les évaluations nutritionnelles, publié dans la prestigieuse revue intitulée *Proceedings of the Nutrition Society* (mai 2017).



(Infographie : F. Nassif/AIEA)

## EN SAVOIR PLUS

### Qu'est-ce que la dysfonction entérique environnementale ?

La dysfonction entérique environnementale (DEE) est une modification de la fonction intestinale, dont les multiples manifestations peuvent être évaluées séparément.

La plus importante d'entre elles se caractérise par la détérioration de la paroi intestinale, qui devient anormalement perméable (poreuse) et altère la composition des tissus qui la recouvrent, réduisant ainsi leur capacité à absorber les nutriments alimentaires et à faire barrage aux cellules bactériennes.

L'inflammation fait également partie des manifestations principales de la DEE et constitue une réponse naturelle du corps à l'invasion externe.

L'absorption limitée des nutriments ou les fuites, combinées à un mouvement de cellules bactériennes incontrôlé, constituent un phénomène complexe qui pourrait bien être à l'origine d'un retard de croissance. En effet, la croissance infantile est régulée par l'hormone de croissance, qui agit comme un catalyseur pour permettre l'ajout d'une couche, appelée « cartilage de conjugaison », sur une autre afin de garantir une croissance osseuse linéaire de l'enfance à la puberté, voire jusqu'à un âge plus avancé. Tout processus qui limite la production ou le fonctionnement de l'hormone de croissance entraîne un retard de croissance linéaire. Le stress lié à la DEE provoque une réduction de l'expression des récepteurs de l'hormone de croissance dans le foie, inhibant ainsi le signal de l'hormone de croissance.

L'ensemble de la population microbienne présente dans le tube digestif est appelé « microbiome ». Celui-ci est indispensable au fonctionnement de l'hôte qu'est le corps humain, ainsi qu'à son fonctionnement immunitaire et à sa survie. Les conditions de stress observées en cas de DEE sont responsables de l'immaturation du microbiome et du remplacement des bactéries bénéfiques par des bactéries pathogènes. Ce phénomène provoque la propagation de l'infection, qui a également une incidence négative sur l'utilisation des nutriments et la croissance.

Si l'on veut comprendre pleinement les mécanismes sous-jacents au retard de croissance à l'œuvre dans la DEE et concevoir des interventions de prévention et de traitement de cette maladie, des techniques sensibles de diagnostic et de classification doivent être mises au point spécialement pour ce domaine. Les techniques nucléaires seront utiles à cet égard.

# Le Chili utilise les techniques nucléaires pour lutter contre l'obésité infantile

Par Laura Gil



**Les informations recueillies grâce aux technologies nucléaires ont aidé les responsables politiques chiliens à adapter les programmes de nutrition.**

(Photo : A. S. Gorisek, AIEA)

En Amérique latine, environ 80 millions de personnes bénéficient, dans une plus ou moins large mesure, de programmes nationaux de nutrition. Au Chili, les interventions de ce type sont aujourd'hui plus efficaces qu'elles ne l'ont jamais été en raison, notamment, de l'utilisation de la technologie nucléaire. Celle-ci permet de mieux diagnostiquer la malnutrition et d'obtenir des informations précises pour guider et évaluer des interventions ciblées.

« Au début des années 1990, les programmes de nutrition étaient essentiellement axés sur la mesure du poids des enfants et visaient à favoriser la prise de poids, sans tenir compte d'autres facteurs », indique Ricardo Uauy, directeur de l'Institut de nutrition et de technologie alimentaire (INTA) de l'Université du Chili. « Ces programmes ont contribué à lutter contre la dénutrition, mais ont aggravé, dans de nombreux cas, les problèmes de surpoids et d'obésité chez les enfants. »

En Amérique latine comme dans d'autres régions, les enfants sont de plus en plus sédentaires ; ils font moins d'exercice et mangent davantage d'aliments riches en matières grasses. Selon les estimations de la malnutrition infantile de 2017, réalisées conjointement par le Fonds des Nations Unies pour l'enfance (UNICEF), l'Organisation mondiale de la Santé (OMS) et le Groupe de la Banque mondiale, près de 4 millions d'enfants de moins de cinq ans sont en surpoids dans la région, beaucoup souffrant en outre de carences en éléments nutritifs essentiels, comme le fer, le zinc et la vitamine A.

Les techniques nucléaires peuvent aider à déterminer le niveau d'absorption des aliments par le corps humain et l'utilisation des nutriments.

Progressivement, avec l'aide de l'AIEA, des spécialistes de la nutrition, comme Ricardo Uauy, ont entrepris d'évaluer, grâce à des techniques nucléaires, la composition corporelle et les dépenses énergétiques des enfants. Ils ont découvert quelle était la répartition du poids d'un enfant en masse grasse et masse maigre, comment l'enfant absorbait et utilisait les minéraux, et quelle quantité d'énergie était utilisée pour l'exercice ou stockée sous forme de graisse. Le stockage excessif de graisse corporelle et le mode de vie sédentaire, c'est-à-dire l'insuffisance d'activité physique, sont les principaux facteurs de risque de l'obésité.

« Ces outils ont été adoptés par plusieurs pays de la région car ils nous montraient que la situation changeait », explique Ricardo Uauy. « Il devenait évident que l'obésité, en particulier chez les groupes à faible revenu, était un problème aussi important que la dénutrition et qu'il était nécessaire de changer les régimes alimentaires et d'augmenter l'activité physique », poursuit-il.

L'obésité infantile accroît le risque de développer des maladies non transmissibles liées au régime alimentaire, notamment plusieurs formes de cancer, l'hypertension artérielle et le diabète de type II. En outre, les chercheurs chiliens qui travaillent à l'INTA ont récemment découvert que les filles obèses mûrissaient et avaient leur première menstruation généralement plus tôt, ce qui entraînait un taux plus élevé de grossesses précoces.

## Perdre du poids

Sur la base de ces constatations, les décideurs politiques chiliens ont adapté les programmes de nutrition, axés maintenant sur

de meilleurs régimes alimentaires, une réduction de l'apport énergétique des graisses et du sucre et une plus grande activité physique. Par conséquent, malgré l'augmentation des niveaux de vie et des modes de vie sédentaires, l'obésité n'a pas gagné de terrain au Chili.

« Nous avons élaboré des régimes variés et accessibles, destinés en particulier aux personnes qui ne peuvent se permettre de manger tous les jours des aliments nutritifs qui coûtent cher », déclare Ricardo Uauy. « Nous pensons toutefois qu'il n'est pas suffisant d'informer les consommateurs. Nous devons faire en sorte que l'option la plus saine soit la plus simple. Pour cela, il est nécessaire de préparer et de vendre des aliments sains, offrant un bon équilibre entre apport énergétique et nutritionnel, et de veiller à ce que les étiquettes des aliments soient plus facilement comprises par tous les consommateurs ».

Lorsque les nutritionnistes de l'INTA ont commencé à travailler avec l'AIEA, il a été établi, dans le cadre d'un projet pilote, que le taux d'obésité chez les enfants d'âge préscolaire était de 10,7 % (chiffre de 2001). En 2009, ces nutritionnistes étaient parvenus à diminuer le nombre de calories contenues dans les repas scolaires et à augmenter l'activité physique quotidienne des enfants, ce qui avait permis de réduire à 8,4 % le taux d'obésité chez les enfants participant au projet.

À la fin de 2016, le programme de nutrition couvrait trois quarts des garderies relevant de la juridiction du Conseil national des jardins d'enfants (JUNJI en espagnol).

## D'autres utilisations des techniques nucléaires dans le domaine de la nutrition : évaluation de la santé musculaire et de l'allaitement maternel

L'AIEA aide également les scientifiques à utiliser les techniques nucléaires et isotopiques pour mesurer la consommation de lait maternel chez les nourrissons allaités, évaluer la santé osseuse des personnes âgées, observer comment le corps absorbe, utilise et retient les nutriments importants, mesurer les réserves de vitamine A et déterminer avec quelle efficacité le corps utilise le fer et le zinc provenant des aliments et des régimes locaux.

Par exemple, l'AIEA aide actuellement des scientifiques chiliens à utiliser des techniques faisant appel aux isotopes stables et d'autres techniques nucléaires pour étudier la santé musculaire et les changements liés à l'activité physique des personnes âgées.

« Les techniques nucléaires nous permettent d'établir des diagnostics très précis », indique Carlos Márquez, nutritionniste à l'INTA. « Or, les diagnostics sont importants pour le traitement des personnes âgées, car il est souvent plus facile de prévenir les maladies que de les guérir », poursuit-il.

Carlos Márquez espère que les données recueillies grâce aux techniques nucléaires aideront les décideurs politiques à prendre des mesures qui permettront d'améliorer la santé et la qualité de vie des personnes âgées.

## EN SAVOIR PLUS

### Comment les techniques nucléaires permettent de mesurer la graisse corporelle

Pour déterminer précisément la quantité de graisse corporelle chez un enfant, par exemple, les scientifiques utilisent des isotopes stables et évaluent la quantité d'eau corporelle totale. Ils marquent de l'eau avec du deutérium ( $^2\text{H}$ ), isotope stable de l'hydrogène, et la donnent à boire à l'enfant. L'eau est marquée ( $^2\text{H}_2\text{O}$ ) mais n'est pas radioactive et n'a donc pas d'effets néfastes sur la santé. Les scientifiques recueillent des échantillons de salive ou d'urine de l'enfant avant et après qu'il a bu l'eau marquée.

La graisse, par définition, ne contient pas d'eau. L'eau consommée se diffuse uniformément dans les tissus maigres en quelques heures. L'eau marquée recueillie et analysée par les scientifiques correspond à la quantité d'eau absorbée par les tissus maigres de l'enfant. Les scientifiques peuvent ainsi déterminer la proportion de masse maigre de l'enfant, puis calculer la quantité de graisse stockée.

Pour en savoir plus sur le fonctionnement des isotopes stables, cliquez sur le lien suivant : [www.iaea.org/topics/childhood-obesity](http://www.iaea.org/topics/childhood-obesity)

« Les techniques nucléaires offrent, par rapport aux techniques classiques, un moyen inédit de clarifier certaines questions. Rapides et précises, elles nous permettent d'observer différents processus corporels pour déterminer la proportion de masse grasse et de masse maigre », explique Ricardo Uauy.

L'AIEA aide le Chili à lutter contre la malnutrition depuis plus de dix ans en transférant des technologies nucléaires et connexes, en formant des scientifiques, en organisant des visites d'experts, en octroyant des bourses et en fournissant du matériel et des équipements.

# Cambodge : le rêve « fou » d'un médecin devient réalité grâce à une nouvelle installation pour les soins anticancéreux

Par Miklos Gaspar



Sokha Eav se tient à côté d'une caisse contenant une gamma-caméra offerte par l'AIEA au Centre national de santé. Une fois le Centre national de cancérologie ouvert, la caméra fournira des images fonctionnelles d'organes, grâce à la détection des rayonnements émis par des radio-isotopes injectés au patient.

(Photo : M. Gaspar/AIEA).

Lorsque, en sortant de la faculté de médecine, Sokha Eav a choisi de se spécialiser dans l'oncologie, nombre de ses collègues lui ont dit qu'il était fou. Il se souvient de la question que lui ont posée ses amis : « Pourquoi choisir une discipline qui n'a aucun avenir dans le pays ? ». Pourtant, vingt ans plus tard, Sokha Eav, directeur du Département d'onco-hématologie à l'hôpital Calmette, dans le centre de Phnom Penh, voit son rêve sur le point de se réaliser avec la création du premier centre de prise en charge du cancer au Cambodge. « Cela a pris du temps, mais j'ai fini par leur montrer qu'ils avaient tort », déclare-t-il en souriant.

Le Centre national de cancérologie de l'hôpital Calmette, dans le centre de Phnom Penh, devrait ouvrir ses portes d'ici la fin de l'année. Une grande partie du matériel, notamment celui fourni par l'AIEA, comme une gamma-caméra devant permettre d'effectuer des scanners et une hotte de laboratoire blindée pour la préparation des radiopharmaceutiques, n'est toujours pas installé ni même déballé, et l'appareil de radiothérapie — le deuxième du pays seulement — n'est pas encore arrivé des États-Unis. Les ouvriers du bâtiment et le personnel du Département d'onco-hématologie, qui constituera le cœur du nouveau centre, travaillent néanmoins d'arrache-pied pour que tout soit prêt dans les temps.

Le cancer pose un problème de plus en plus grave au Cambodge, comme dans la plupart des pays en développement. Du fait de la transformation des modes de vie, induite par l'amélioration des conditions et de l'espérance de vie, il devient l'une des premières causes de mortalité dans le pays. En l'absence de registre national du cancer au Cambodge, on estime à 15 000

le nombre de cas de cette maladie par an, sur une population de 15 millions d'habitants. Dans environ 90 % des cas, une radiothérapie serait nécessaire, mais l'unique appareil de radiothérapie dont dispose le Cambodge, à l'hôpital de l'Amitié khméro-soviétique de Phnom Penh, ne permet de soigner que quelque 500 patients par an. De plus, seuls 1 500 patients environ ont les moyens de financer leur traitement dans les pays voisins, ce qui signifie qu'une vaste majorité des personnes atteintes d'un cancer n'ont pas accès à la radiothérapie.

Le projet de Sokha Eav va contribuer dans une large mesure à améliorer cette situation. À son ouverture, le centre sera doté d'un appareil de radiothérapie, et il est prévu qu'il en acquière deux autres dans les prochaines années. Par ailleurs, deux nouveaux centres régionaux de cancérologie ouvriront leurs portes d'ici 2025, l'un au nord et l'autre à l'ouest du pays. Ils posséderont leurs propres installations de radiothérapie et de médecine nucléaire, et permettront ainsi l'accès aux soins anticancéreux à 70 % de la population. « Ce n'est pas pleinement satisfaisant, mais cela constituera déjà un immense progrès », souligne Sokha Eav.

## Diagnostiquer le cancer

Il est prévu d'installer un appareil de TEP-CT (tomographie à émission de positons-tomodensitométrie), devant servir à établir des diagnostics médicaux, et un cyclotron pour la production de radiopharmaceutiques, le diagnostic et le traitement du cancer. « La mise en place d'une installation de médecine nucléaire est une composante essentielle de l'approche exhaustive du



pays en matière de prise en charge du cancer », explique Thomas Pascual, de la Section de la médecine nucléaire et de l'imagerie diagnostique de l'AIEA. D'après lui, l'établissement d'un diagnostic précis est la première étape indispensable au traitement.

« Il n'a pas été facile d'arriver jusqu'ici », se remémore Sokha Eav. De fait, il a fallu surmonter la crainte des rayonnements, répandue même parmi les fonctionnaires de la santé et les administrateurs hospitaliers. Sokha Eav s'est appuyé sur les statistiques de progression du taux de survie au cancer des pays voisins, et a mis en avant les normes de sûreté de l'AIEA et l'appui apporté par cette dernière dans le domaine de la protection des travailleurs et des patients. Une fois qu'ils ont pris la pleine mesure de l'importance de la prise en charge du cancer, les responsables du gouvernement ont alloué des ressources à la construction du centre et à l'achat du matériel (36 millions de dollars au total sur les trois dernières années).

« Cependant, les compétences nécessaires à l'exploitation du nouveau matériel ne peuvent s'acheter », fait remarquer Sokha Eav. « C'est dans ce domaine que l'appui de l'AIEA s'est révélé le plus précieux », ajoute-t-il. La moitié du personnel permanent, notamment des radio-oncologues, des physiciens médicaux, des techniciens en médecine nucléaire et des radiothérapeutes, ainsi qu'un radiopharmacien et un spécialiste de médecine nucléaire, a bénéficié de bourses et de formations de l'AIEA, ces dernières ayant été dispensées dans des hôpitaux de la région et d'Europe. « Ces spécialistes ont acquis des compétences techniques, mais ont aussi appris à s'occuper des patients », indique Sokha Eav. « Il est très important d'instaurer une bonne atmosphère, surtout quand il s'agit de patients atteints d'une maladie comme le cancer », explique-t-il.

« Le coût total des projets de coopération technique de l'AIEA relatifs aux soins anticancéreux et à la médecine nucléaire au Cambodge a dépassé 1,2 million d'euros au cours des dernières années », affirme Mykola Kurylchuk, responsable de la gestion des programmes de l'AIEA au Cambodge. « Cela en valait la peine. Les résultats sont probants », souligne-t-il.

## Prévention

« Un des éléments clés de l'amélioration du taux de survie au cancer est le diagnostic précoce, qui pose justement un problème majeur au Cambodge », explique Ra Chheang, directeur général de l'hôpital Calmette. En effet, plus de 70 % des patients atteints d'un cancer sont dirigés vers des oncologues lors de la phase terminale de la maladie, ce qui signifie que leurs chances de recevoir un traitement efficace sont minimes, voire nulles. Dans les pays développés, cette proportion est inférieure à un tiers. « Si je pouvais changer une chose dans la prise en charge du cancer au Cambodge, elle concernerait le diagnostic précoce », dit Ra. « Une fois le nouveau centre ouvert, le fait de savoir qu'un traitement est disponible incitera les patients à consulter plus tôt », ajoute-t-il.

La coopération internationale, notamment avec l'AIEA, a joué un rôle déterminant dans la création du nouveau centre. Une fois que celui-ci sera opérationnel, Sokha Eav compte bien rembourser en nature ce qu'il a reçu au fil des ans. « Ce sera à notre tour d'aider d'autres pays et de leur permettre de bénéficier de bourses et de formations. »

« On m'a longtemps dit que je n'avais pas les pieds sur terre », raconte Sokha Eav avec un sourire en coin. « Aujourd'hui, on me prend plus au sérieux. »

# Les avancées en médecine nucléaire : entretien avec Satoshi Minoshima sur l'utilisation de l'imagerie moléculaire aux fins du diagnostic de la démence

*S'il n'existe pas de remèdes à des maladies comme l'alzheimer, il importe néanmoins de pouvoir établir des diagnostics précis pour soigner les patients. Comme l'a montré le film Still Alice, sorti en 2014, les patients comme les soignants pâtissent d'un diagnostic tardif de la maladie. L'imagerie moléculaire permet justement d'en établir un diagnostic précis, même lorsque d'autres pathologies en masquent les symptômes.*

*Pour avoir une idée des possibilités qu'offre l'imagerie moléculaire et de son utilisation aux fins du diagnostic des troubles cérébraux, le rédacteur Miklos Gaspar a rencontré le professeur Satoshi Minoshima, directeur du Département de radiologie et d'imagerie de l'Université de l'Utah, aux États-Unis. Satoshi Minoshima, radiologue spécialisé en imagerie moléculaire, a publié plus de 170 articles soumis à un comité de lecture.*

*Satoshi Minoshima, qui a présidé le conseil de l'imagerie cérébrale de la Société de médecine nucléaire et d'imagerie moléculaire, dont il est maintenant vice-président, dirige actuellement le comité d'imagerie moléculaire de la Société radiologique d'Amérique du Nord (RSNA). Il dirige également un projet de recherche coordonnée de l'AIEA sur l'utilisation de l'imagerie moléculaire aux fins du diagnostic de la démence, qui se concentre sur les besoins des pays en développement.*



## **L'utilisation des techniques d'imagerie moléculaire dans le traitement des maladies cardiaques, du cancer et des troubles neurologiques est bien connue. Comment ces techniques permettent-elles de diagnostiquer des maladies de démence, comme la maladie d'Alzheimer ?**

L'imagerie cérébrale moléculaire a considérablement progressé au cours des dernières décennies. Depuis les années 1990, la tomographie à émission de positons (TEP), qui est une technologie d'imagerie cérébrale utilisant des radiopharmaceutiques au fluorodésoxyglucose (FDG), et la tomographie d'émission monophotonique (SPECT) en perfusion cérébrale sont des outils essentiels au diagnostic de divers troubles cérébraux, tels que la maladie d'Alzheimer et d'autres formes de démence. Bien que les maladies neurodégénératives soient encore incurables, leur prise en charge requiert souvent différentes méthodes spécifiques de traitement symptomatique, une planification des soins et des conseils aux soignants et aux membres de la famille. Cela signifie qu'un diagnostic différentiel plus précis est indispensable pour améliorer les soins prodigués aux patients.

Plus récemment, des établissements de soins de nombreux pays ont commencé à offrir un service d'imagerie amyloïde par TEP. Cette technique permet de déceler l'un des processus

pathologiques fondamentaux associés à la maladie d'Alzheimer. Elle permet de détecter en particulier les dépôts protéiques anormaux caractéristiques de cette maladie et d'obtenir des images plus détaillées que celles obtenues grâce aux radiotraceurs plus classiques utilisés dans le passé. Des essais sont actuellement réalisés dans plusieurs centres pour évaluer sa valeur clinique.

D'autres nouvelles technologies d'imagerie par TEP, comme l'imagerie tau et l'imagerie de l'inflammation, font actuellement l'objet d'une évaluation par la communauté de la recherche. Tous ces efforts ne visent pas seulement à aider à soigner les patients au quotidien. Ils permettent d'obtenir des connaissances essentielles du processus de la maladie qui favoriseront les progrès thérapeutiques.

## **Les symptômes de la maladie d'Alzheimer et d'autres types de démence sont manifestes. Quels avantages l'imagerie moléculaire offre-t-elle pour leur diagnostic et pourquoi est-elle nécessaire ?**

L'imagerie moléculaire n'est pas nécessaire au diagnostic pour tous les patients. En réalité, 85 % à 90 % des patients présentent des symptômes habituels et typiques, qui permettent

aux cliniciens d'établir précisément leur diagnostic. L'imagerie moléculaire est utile dans les cas complexes, ou lorsque d'autres pathologies coexistent et il est difficile de déterminer au premier abord à quelle maladie sont liés les symptômes observés. L'accident vasculaire cérébral est une comorbidité courante qui peut perturber les fonctions cérébrales, et certains de ses symptômes peuvent ressembler à ceux de la démence neurodégénérative. L'imagerie moléculaire permet aux médecins de distinguer les deux maladies.

## **Deux tiers des 44 millions de personnes souffrant de démence dans le monde sont dans des pays en développement. Les techniques évoquées coûtent cher. Ces patients peuvent-ils espérer avoir accès à de tels outils de diagnostic ?**

Si la FDG-TEP et la SPECT en perfusion cérébrale sont très répandues dans de nombreux pays en développement, l'imagerie moléculaire est une technologie coûteuse qui ne peut pas être utilisée pour le traitement de tous les patients atteints de démence dans le monde. Le problème du coût se pose également dans les pays développés.

Afin que l'imagerie cérébrale moléculaire soit utilisée le plus efficacement possible, plusieurs associations professionnelles ont élaboré des « critères d'utilisation appropriés » relatifs à l'imagerie TEP cérébrale. L'application de tels critères devrait permettre d'utiliser cette technologie uniquement dans les cas où elle s'avère le plus utile pour soigner le patient, et d'économiser ainsi des ressources précieuses. En outre, des tests moins chers, qui pourront être plus largement effectués et ne requièrent pas d'imagerie coûteuse, sont actuellement mis au point. À l'avenir, l'utilisation de ces tests devrait permettre d'éviter le recours systématique aux techniques d'imagerie, plus coûteuses et plus complexes et, espérons-le, de réserver l'utilisation plus efficace de l'imagerie à des indications cliniques particulières et à des patients présentant des cas cliniques complexes.

## **Pourriez-vous nous parler des projets de recherche de l'AIEA que vous dirigez ?**

La démence, notamment la maladie d'Alzheimer, peut être concomitante de pathologies telles que les maladies vasculaires, le diabète et l'infection au VIH. Ces pathologies sont fréquentes dans les pays en développement. Il est nécessaire de procéder à une analyse plus poussée des résultats de l'imagerie cérébrale obtenus chez des patients qui en souffrent, afin de faciliter le diagnostic chez d'autres patients. La collecte et l'analyse des données tirées des images diagnostiques sont les objectifs du projet de l'AIEA.

## **Comment l'AIEA peut-elle contribuer, notamment dans le cadre de ce projet de recherche, à rendre l'imagerie moléculaire plus accessible dans ce domaine ?**

L'AIEA peut y contribuer de nombreuses manières. Il est essentiel de faire mieux connaître cette technologie et d'informer les médecins et les patients sur la façon dont elle peut aider à la prise en charge clinique de la démence. L'AIEA peut contribuer à rendre cette technologie plus largement accessible dans les pays en développement en évaluant les ressources, en fournissant un appui et en préconisant un soutien dans les États Membres.

# Aplanir les obstacles à la médecine nucléaire au Bangladesh

Par Nicole Jawerth



**A. Chowdhury est venue au NINMAS, à Dhaka, pour subir un scanner rénal diagnostique.**

(Photo : N. Jawerth/AIEA)

**A**u Bangladesh, le nombre de personnes en mesure de payer leur prise en charge diagnostique a triplé au cours des dix dernières années, le pays ayant développé et renforcé ses services de médecine nucléaire. Des responsables du domaine de la santé ont travaillé sans relâche, avec l'aide de l'AIEA, à la mise en place d'un système de médecine nucléaire disposant de personnel médical compétent, d'outils d'imagerie de pointe et d'une source de radiopharmaceutiques essentiels économique.

« Je suis venue ici aujourd'hui parce que cette installation est très agréable, mais surtout parce que c'est l'option la plus abordable », explique A. Chowdhury, qui vient de passer un scanner rénal à l'Institut national de la médecine nucléaire et des sciences associées (NINMAS), à Dhaka. « Si ce genre d'hôpitaux publics n'existait pas, je ne sais pas où j'aurais pu trouver de l'aide », confie-t-elle.

Le NINMAS est l'un des 15 centres de médecine nucléaire financés par l'État qui ont ouvert leurs portes au Bangladesh au cours des vingt dernières années. Plus de 60 000 actes de médecine nucléaire (voir l'encadré « En savoir plus ») y sont effectués chaque année dans les domaines de l'oncologie, de la cardiologie et de la néphrologie et dans le cadre d'études sur le cerveau. Cet institut offre aussi des services thérapeutiques pour le traitement de pathologies thyroïdiennes et oculaires.

## Une question de coût

Les centres financés par l'État, comme le NINMAS, sont importants pour les 170 millions d'habitants du Bangladesh, en

particulier pour le quart de la population qui vit en dessous du seuil de pauvreté.

« Le coût est une préoccupation majeure pour les habitants du Bangladesh. Si le NINMAS ne subventionnait pas les soins, nombre de patients ne pourraient bénéficier de ceux dont ils ont besoin », explique Raihan Hussain, directeur de la Division de cardiologie nucléaire et tomographie à émission de positons (TEP)/tomodensitométrie (CT) du NINMAS.

« Un scanner rénal, comme celui qu'a subi A. Chowdhury, est un acte de médecine nucléaire simple qui permet aux médecins de déterminer l'état du patient et le fonctionnement de ses reins », explique Raihan Hussain. « Dans un cabinet privé, ce type d'acte coûte au moins cinq fois plus cher qu'au NINMAS », ajoute-t-il.

Depuis son ouverture, le NINMAS collabore avec des experts de l'AIEA en ce qui concerne l'achat de matériel, la formation et la poursuite de ses travaux de recherche, dans le but de renforcer et de perfectionner la prise en charge des patients. Maintenant, les médecins qui y travaillent enseignent aussi à des étudiants en médecine.

De plus, le NINMAS prévoit d'installer un autre appareil de TEP/CT et un cyclotron afin de produire des radiopharmaceutiques essentiels, c'est-à-dire des médicaments spécialisés qui contiennent de faibles quantités de matière radioactive (voir l'encadré « En savoir plus »).

« Avec le nouvel appareil de TEP/CT, nous devrions pouvoir examiner presque deux fois plus de patients chaque semaine »,

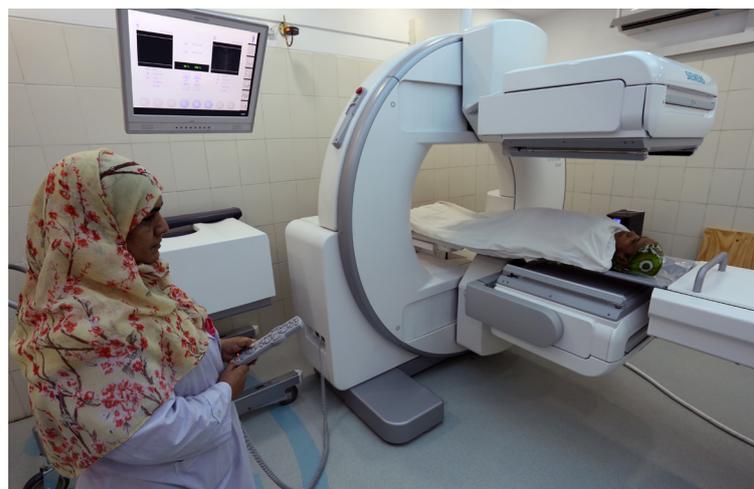
affirme Nasreen Sultana, maître de conférences au NINMAS. « Disposer d'un cyclotron sur place nous aidera à produire de manière économique les radiopharmaceutiques utilisés pour les scanners TEP », poursuit-il.

## La production de radiopharmaceutiques

Actuellement, la plupart des radiopharmaceutiques utilisés dans les centres de médecine nucléaire au Bangladesh proviennent du laboratoire de production de radio-isotopes qui se trouve à l'Institut des sciences et techniques nucléaires de la Commission de l'énergie atomique du Bangladesh, à Savar, juste à la périphérie de Dhaka. Ce laboratoire est alimenté par un réacteur de recherche d'une puissance de 3 mégawatts (MW) servant à mettre au point et à fournir les radiopharmaceutiques utilisés lors des quelque 500 000 actes effectués chaque année dans les centres de médecine nucléaire.

Outre l'iode 131, radio-isotope utilisé principalement dans le diagnostic et le traitement des pathologies thyroïdiennes, le laboratoire produit des générateurs de molybdène 99 ( $^{99}\text{Mo}$ )/technétium 99m ( $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ). Le  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  est un radio-isotope utilisé dans plus de 80 % des actes de médecine nucléaire. Chaque semaine, 18 à 20 générateurs, qui sont des dispositifs servant à extraire le  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  du  $^{99}\text{Mo}$  à des fins médicales, sont produits dans le laboratoire, à un coût bien inférieur au coût de l'importation de générateurs. Les installations ont été mises en place grâce à des projets de coopération technique de l'AIEA.

La collaboration avec l'AIEA a permis au laboratoire de se doter d'une salle blanche certifiée ISO destinée à la production



**Plus la population du Bangladesh s'accroît, plus la demande en services de médecine nucléaire du type de ceux fournis au NINMAS augmente.**

(Photo : N. Jawerth/AIEA)

de trousseaux non marqués au  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ , utilisées pour préparer des radiopharmaceutiques au  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  destinés aux procédures de diagnostic.

« Nous prévoyons également de faire l'acquisition d'un nouveau réacteur de 20 à 30 MW d'ici dix ans. Nous pourrions alors produire les isotopes sur place et peut-être même en fournir à d'autres pays », déclare M. Azizul Haque, directeur de la Division de la production de radio-isotopes à l'Institut des sciences et techniques nucléaires de la Commission de l'énergie atomique du Bangladesh.

## EN SAVOIR PLUS

### Qu'est-ce que la médecine nucléaire ?

Les techniques de médecine nucléaire sont le plus souvent utilisées pour évaluer le fonctionnement d'un organe ou d'une structure du corps. Elles fournissent des informations précieuses et permettent de détecter des maladies à un stade précoce.

La majorité des actes de médecine nucléaire sont exécutés dans le corps à l'aide de médicaments spécialisés, les radiopharmaceutiques, qui contiennent des radionucléides. Une fois les médicaments injectés dans le corps, ils interagissent avec certains tissus ou organes. À l'extérieur du corps, un détecteur spécial, comme une gamma-caméra, décèle les faibles quantités de rayonnements émis par l'organe ou le tissu. À partir de ces informations, la caméra peut produire des images du tissu ou de l'organe. Grâce aux radiopharmaceutiques, les médecins obtiennent des informations précises sur l'organe ou le tissu examiné, ainsi que sur le fonctionnement d'organes tels que le cœur, les reins et le foie.

La médecine nucléaire est aussi utilisée pour traiter certaines pathologies et affections. Les médecins choisissent, en faibles quantités, des radiopharmaceutiques que certaines parties du corps absorbent mieux que d'autres et qui pourront donc atteindre des zones précises au cours du traitement. Les faibles quantités de rayonnements émis par les radiopharmaceutiques permettent d'éliminer les cellules à l'origine de la pathologie tout en ayant un minimum d'impact sur les cellules voisines et le reste du corps.

# L'AIEA promeut l'assurance de la qualité grâce à des audits cliniques et dosimétriques complets

Les audits de qualité indépendants, inclus dans les programmes complets d'assurance de la qualité, sont réputés efficaces en matière de vérification de la qualité des pratiques en médecine radiologique. Les audits de qualité incluent divers types et niveaux d'examen. Cet article présente ceux effectués par l'AIEA, notamment la vérification des niveaux des doses administrées dans les cliniques de radio-oncologie.

L'AIEA met en avant la nécessité d'effectuer des audits réguliers dans le domaine de la médecine radiologique, sous la forme de missions d'examen par des pairs menées par des experts. Elle a élaboré des lignes directrices complètes à même d'appuyer le processus d'audit dans toutes les disciplines, à savoir la radiothérapie, la médecine nucléaire et la radiologie diagnostique. Elle élabore également des lignes directrices exposant les principes et critères de bonne pratique relatifs aux divers éléments du service clinique, ainsi que des lignes directrices relatives à la conduite des audits.

## QUAADRIL

La méthode de **Vérification de l'assurance de la qualité pour l'amélioration et l'enseignement de la radiologie diagnostique (QUAADRIL)**, publiée en 2010, aide à l'évaluation efficace des services de radiologie diagnostique des hôpitaux et des installations de diagnostic, passe en revue les pratiques et les procédures afin de déceler leurs lacunes, et propose des moyens d'améliorer la qualité. À l'issue d'une QUAADRIL sont notamment formulées des recommandations qui visent à :

- améliorer la pratique clinique ;
- renforcer le programme d'assurance de la qualité ;
- veiller à ce que les prescriptions relatives à la protection des patients soient respectées ; et
- permettre l'élaboration de programmes locaux (internes ou nationaux) d'audit clinique.

L'objectif de l'audit clinique étant d'améliorer la qualité, il est attendu qu'à l'installation soit élaboré un plan d'action destiné à donner suite aux recommandations de la QUAADRIL. Ce dernier pourrait servir à contrôler la réponse de l'installation et prévoir une mission ou un audit de suivi.

## QUATRO

Les audits de l'**Équipe d'assurance de la qualité en radio-oncologie (QUATRO)** aident les centres de radiothérapie à atteindre le meilleur niveau de pratique possible en fonction de leurs situations économiques respectives. La QUATRO est composée de trois experts des équipes d'audit : un physicien

médical, un oncologue radiothérapeute et un manipulateur en radiothérapie.

Ces experts possèdent une vaste expérience dans leur domaine et reçoivent une formation spécialisée à la méthode d'audit. L'équipe examine le programme de radiothérapie dans son intégralité, y compris l'organisation, l'infrastructure et les aspects cliniques, ainsi que les aspects relatifs à la physique médicale et à la sûreté, du processus de radiothérapie. Les compétences professionnelles du département sont aussi examinées, en vue de l'amélioration de la qualité. Les auditeurs déterminent les points forts des pratiques de radiothérapie et recensent les lacunes en matière de technologie, de ressources humaines et de procédures, ce qui permet aux centres faisant l'objet d'un audit de définir les domaines à améliorer. En juillet 2017, l'AIEA avait effectué 91 audits de ce type dans le monde.

## QUANUM

Le programme d'**Audit d'assurance de la qualité en médecine nucléaire (QUANUM)**, établi par l'AIEA en 2009, prévoit une évaluation spécifique, harmonisée et complète de la qualité des services cliniques de médecine nucléaire fournis dans les États Membres. Il vise notamment à déterminer les forces et les faiblesses des installations et à aider ces dernières à définir les besoins prioritaires, à entreprendre des activités de planification et à gérer leurs ressources. L'objectif ultime de ces audits est d'améliorer la pratique clinique.

Le programme fournit aux praticiens spécialisés dans la médecine nucléaire un outil permettant d'évaluer leur respect des normes internationales. Depuis sa création en 2009, 53 missions d'audit ont été effectuées dans 39 pays.

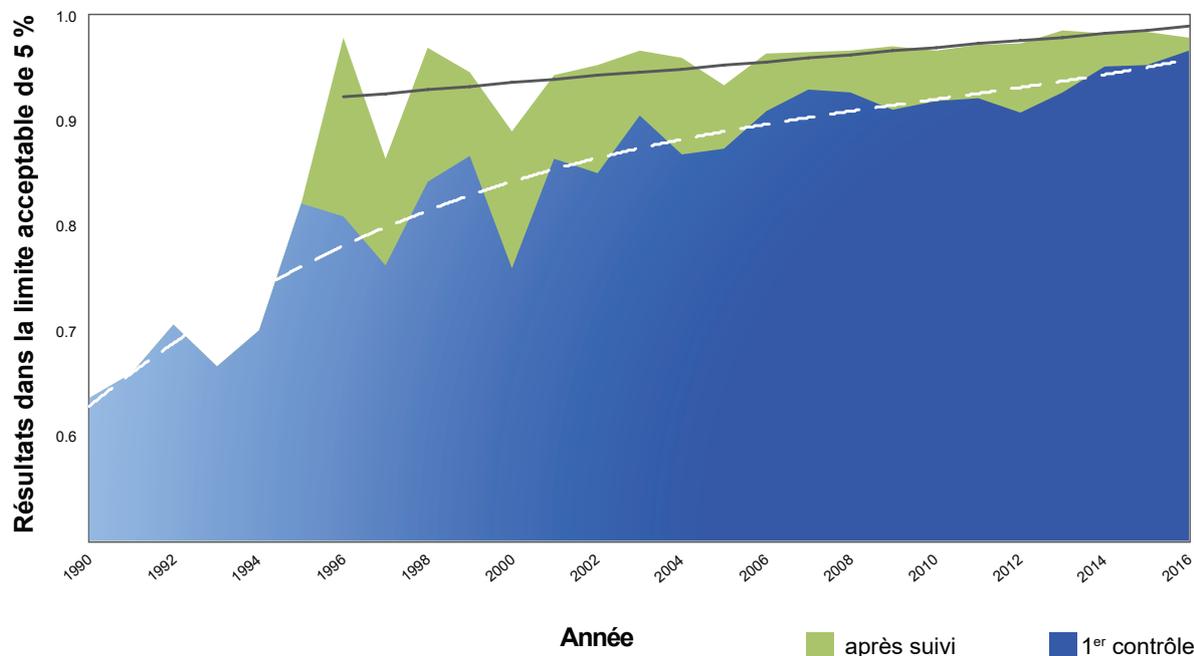
L'AIEA organise régulièrement des programmes de formation en vue d'apprendre à des équipes pluridisciplinaires d'auditeurs à instaurer une culture de la qualité dans les pratiques de médecine nucléaire.

## L'audit dosimétrique de l'AIEA/OMS (Organisation mondiale de la Santé) pour la radiothérapie

Le Laboratoire de dosimétrie de l'AIEA propose un programme de vérification des doses, dans le cadre duquel les pratiques de dosimétrie sont soumises à des contrôles réguliers, avec un haut degré de précision. Ce programme

## Amélioration de la précision des résultats des vérifications de doses par voie postale effectuées par l'AIEA/OMS

Le graphique montre les résultats compris dans la limite acceptable de 5 %, enregistrés par le service de vérification des doses par voie postale entre 1990 et 2016. La zone bleue correspond aux résultats du premier contrôle et la zone verte aux résultats du suivi, obtenus lors d'une deuxième irradiation de dosimètres durant la période mentionnée. Le graphique montre une amélioration importante au cours de cette période



a pour objectif d'assurer que le matériel de radiothérapie du monde entier est correctement étalonné en vue d'un traitement du cancer précis, fiable et efficace.

Le programme d'audit dosimétrique de l'AIEA/OMS, établi depuis 1969, est sans frais pour les utilisateurs finaux. Des appareils de mesure de faibles doses, les dosimètres, sont envoyés par voie postale à une clinique, où ils reçoivent une dose de rayonnements, comme s'il s'agissait de patients. Ils sont ensuite renvoyés au Laboratoire de dosimétrie de l'AIEA, où la dose de rayonnements qu'ils ont effectivement reçue est mesurée avec précision afin de la comparer à celle que l'hôpital entendait administrer.

Tout écart par rapport à la dose voulue, ne serait-ce que de 5 %, peut modifier les effets de la radiothérapie. Une dose inférieure pourrait compromettre l'efficacité du traitement, tandis qu'une dose supérieure risque d'endommager les organes des patients. Les audits dosimétriques, dont le but est d'assurer une grande précision des doses administrées, contribuent à éliminer ces risques.

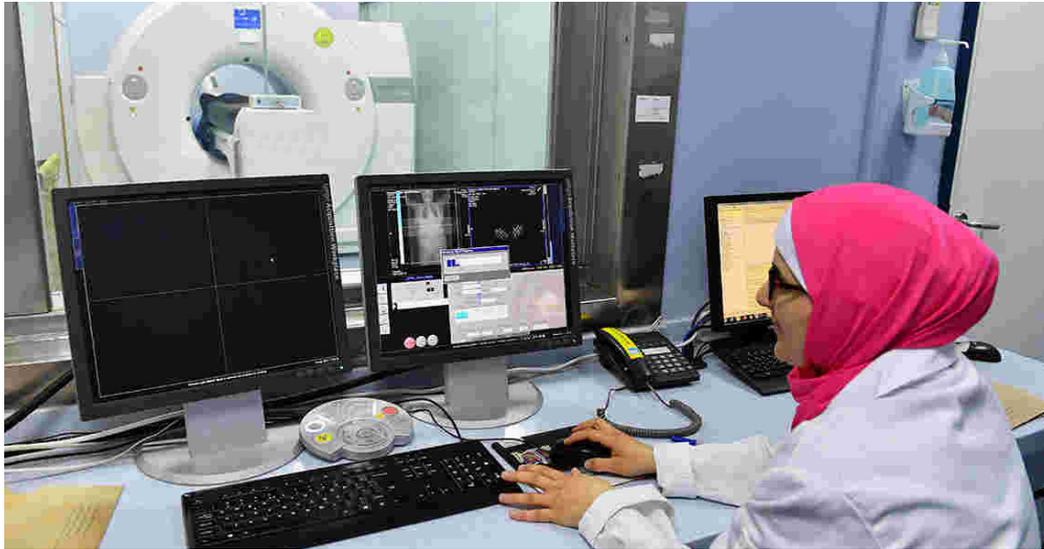
Pour empêcher que les rayonnements n'entraînent des lésions en raison d'erreurs de dosimétrie, le laboratoire donne suite à tout résultat d'audit qui dépasse les limites acceptables. S'il y a un écart, le laboratoire prévient la clinique et lui demande de refaire le test. Si la deuxième vérification confirme le manque de précision de la dose administrée, l'AIEA offre

l'appui d'experts pour aider l'hôpital à résoudre efficacement le problème.

Les dossiers contenant les résultats des audits dosimétriques depuis la création du programme montrent une augmentation régulière de la capacité des hôpitaux à administrer les doses correctes : si, en 2000, 94 résultats d'audits sur 391 (soit 24 %) révélaient un écart, ils n'étaient plus que 21 sur 623 (soit 3 %) en 2016. Ce progrès ne s'explique pas uniquement par l'amélioration de la technologie du matériel de rayonnement. « La possibilité de faire vérifier les doses dans le cadre de l'audit de l'AIEA/OMS a également contribué à l'amélioration de la précision », déclare Joanna Izewska, directrice du Laboratoire de dosimétrie de l'AIEA. À ce jour, plus de 2 200 centres de radiothérapie dans 132 pays ont eu recours à ces vérifications

# La Jordanie étend ses activités de prise en charge du cancer à la théragnostique, procédure de nanomédecine avancée

Par Aabha Dixit



**Une travailleuse médicale analyse une image obtenue par TEP/CT au Centre anticancer du Roi Hussein.**

(Photo : D. Calma/AIEA)

« Vous avez un cancer. » Ces quatre mots peuvent bouleverser une vie. Toutefois, les progrès de la médecine permettent d'effectuer de plus en plus de diagnostics précoces, et donc de traiter la maladie. Au Centre anticancer du Roi Hussein (KHCC), à Amman (Jordanie), un large éventail d'outils de médecine nucléaire et de technologies avancées sont utilisés pour le diagnostic et le traitement.

Avec 4 000 à 5 000 nouveaux cas de cancer diagnostiqués et traités chaque année, le KHCC est l'un des principaux hôpitaux du Moyen-Orient en matière de traitement du cancer. Un tiers des patients viennent de l'étranger.

« Au KHCC, l'objectif est de veiller à ce que les procédures qui impliquent l'imagerie moléculaire et la théragnostique soient effectuées avec une attention et un soin extrêmes », déclare Akram N. Al-Ibraheem, chef du Département de médecine nucléaire de l'hôpital. « La théragnostique repose sur des procédures nanotechnologiques qui visent à améliorer l'imagerie et la thérapie aux fins du traitement du cancer, et offre des produits et des services de santé biomédicaux de pointe. Ses avantages sont nombreux mais, si les procédures adéquates ne sont pas suivies, la sûreté des patients peut être sérieusement compromise », fait-il remarquer.

Les techniques et les technologies de médecine radiologique, qui incluent les disciplines de la médecine nucléaire, de la radiologie diagnostique et de la radiothérapie, offrent des moyens efficaces pour lutter contre le cancer. Leurs avantages sont incomparables : elles permettent d'avoir une connaissance approfondie du fonctionnement physiologique, des processus biologiques et de la morphologie, et de recueillir des

informations plus précises sur le fonctionnement de l'organisme et la maladie.

## Les techniques théragnostiques permettent de détecter les cellules cancéreuses

La théragnostique pourrait modifier l'ensemble du programme de soins de santé pour le traitement du cancer. Ce programme regroupe le diagnostic moléculaire et les capacités thérapeutiques dans une seule plateforme, qui fournit une méthode efficace pour détecter et caractériser la maladie aux niveaux cellulaire et moléculaire afin d'élaborer une thérapie ciblée. Cette approche ne permet pas uniquement de diagnostiquer la maladie, elle prévoit aussi l'administration des médicaments et peut être utilisée pour surveiller la réponse à la thérapie.

« À l'ère de la théragnostique, nous utiliserons la signature moléculaire de la maladie en étudiant les changements au niveau des protéines et de l'ADN contenu dans les cellules malades du patient. Nous pourrions ainsi déterminer pour chaque patient la thérapie qui convient », résume Akram N. Al-Ibraheem. Les signatures moléculaires sont des groupes de gènes, de protéines et de variants génétiques qui peuvent être utilisés comme marqueurs afin d'étudier les caractéristiques des gènes.

La théragnostique cible une tumeur cancéreuse ou une zone du corps particulière. Une nanoparticule introduit dans le corps le médicament thérapeutique, qui parvient au siège de la tumeur et attaque directement les cellules cancéreuses. L'impact sur les zones corporelles environnantes est limité.

En médecine nucléaire, la combinaison de la tomographie à émission de positons et de la tomодensitométrie (TEP/CT) est utilisée en imagerie moléculaire et en théragnostique. La particularité de la théragnostique réside dans le fait qu'une même nanoparticule ou molécule peut servir pour l'imagerie ou le traitement de la tumeur, en fonction de l'isotope choisi pour le marquage. Ainsi, cette technique permet d'éliminer les incertitudes inhérentes à l'utilisation de composés différents pour le diagnostic et la thérapie.

Le KHCC a commencé à utiliser la théragnostique en juin 2015, en particulier pour soigner des patients présentant des tumeurs neuroendocrines, qui correspondent à une croissance tissulaire anormale se formant principalement dans l'intestin, le pancréas et les poumons. La plupart des patients qui ont bénéficié de ce traitement au KHCC ont vu leur qualité de vie s'améliorer grandement et leur espérance de vie s'allonger. « Chez certains d'entre eux, on a observé une réponse partielle au traitement théragnostique, comme l'ont montré l'imagerie et les biomarqueurs », ajoute Akram N. Al-Ibraheem.

### Diffuser le message

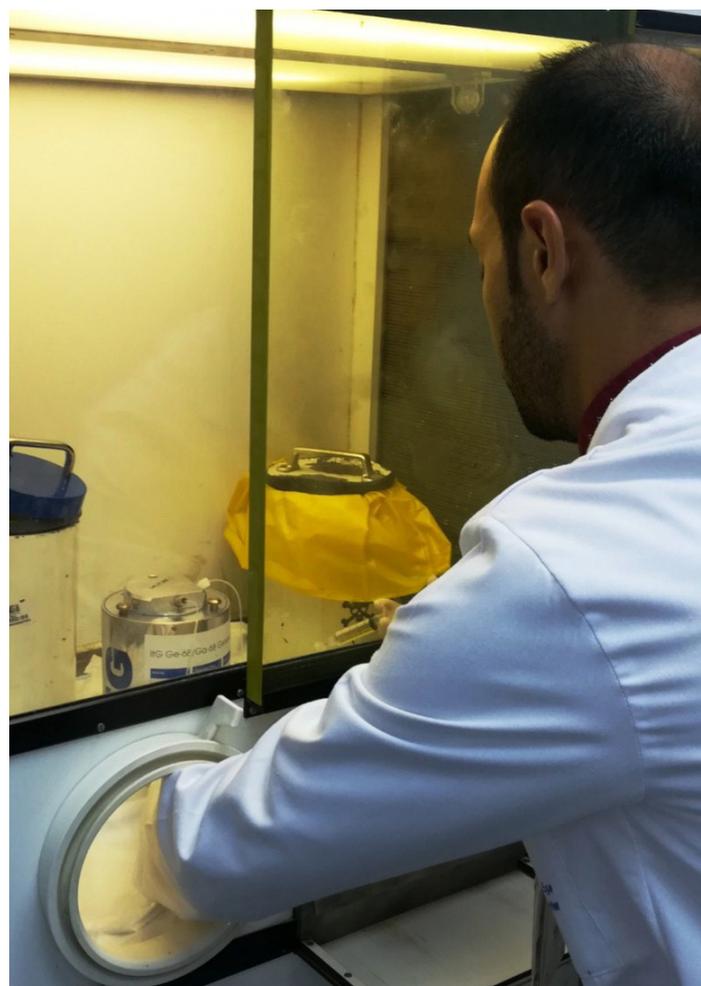
Dans les pays où le mot « cancer » reste tabou, il n'est pas facile de sensibiliser les populations à l'aide que peut apporter la médecine nucléaire dans le traitement de cette maladie. Le KHCC mène une campagne de sensibilisation qui vise à promouvoir le slogan « Un bon diagnostic est le début d'un bon traitement ». Cette campagne organise notamment des ateliers et fait appel à des organismes civiques pour sensibiliser le public à l'importance de la détection et de la prévention précoces, ainsi que pour mobiliser des fonds afin d'appuyer le KHCC.

« La lutte contre les stéréotypes culturels et sociaux sur le cancer va de pair avec l'incitation au dépistage », affirme Akram N. Al-Ibraheem. « Les patients en rétablissement et leur famille jouent également un rôle important dans la diffusion du message selon lequel une 'nouvelle technologie' aide à lutter contre le cancer », explique-t-il.

### Une formation spécialisée en médecine nucléaire et au diagnostic

Il ne suffit pas de posséder du matériel médical avancé : il est tout aussi indispensable de fournir la formation nécessaire au personnel médical. Dans le cadre de ses efforts visant à offrir des soins de grande qualité, le KHCC a donc ouvert un centre consacré à la formation qui propose un enseignement et une formation en médecine nucléaire et au diagnostic, entre autres disciplines de prise en charge du cancer.

Le centre dispense des cours à caractère médical et non médical destinés à la fois au personnel du KHCC et aux professionnels de santé du pays et de la région. Parmi ces cours, un programme complet de formation aux soins infirmiers en oncologie fournit des lignes directrices et des procédures détaillées relatives à l'utilisation sûre du matériel de médecine nucléaire et de diagnostic. Afin d'assurer un maximum de bénéfices avec un minimum de risques, il est essentiel de prendre en compte tous



**Un technicien en médecine nucléaire prépare un radiopharmaceutique pour TEP/CT destiné au traitement d'une tumeur neuroendocrine.**

(Photo : Centre anticancer du Roi Hussein, Jordanie)

les aspects de la sûreté radiologique, de la dosimétrie adéquate et des procédures d'assurance de la qualité dans les applications nucléaires en médecine.

### L'appui de l'AIEA

Grâce à son programme de coopération technique, l'AIEA aide le KHCC à élaborer des programmes de formation en médecine nucléaire et en matière de diagnostic. « La formation offerte aux médecins spécialistes de médecine nucléaire, aux radiothérapeutes et aux physiciens médicaux a contribué à constituer un personnel de haut niveau à même de dispenser des soins anticancéreux », conclut Akram N. Al-Ibraheem. Cette formation a été appuyée par les compétences, les bourses, les cours de formation et un échange d'informations, notamment en radio-oncologie et en physique médicale.

# Des organismes des Nations Unies lancent un programme mondial commun de lutte contre le cancer du col de l'utérus

Par Aabha Dixit



**La curiethérapie occupe une place importante dans le traitement radiothérapeutique du cancer du col de l'utérus.**

(Photo : D. Calma/AIEA)

En 2012, le cancer du col de l'utérus a causé la mort de plus de 260 000 femmes dans le monde, soit un décès toutes les deux minutes. Plus de 90 % de ces décès sont survenus dans des pays en développement. En réponse à ce problème de santé mondial, sept organismes des Nations Unies ont lancé l'an dernier le Programme mondial commun des Nations Unies pour la lutte contre le cancer du col de l'utérus, qui est un programme quinquennal.

Il y a quelques mois, des équipes d'experts ont examiné les programmes de lutte contre le cancer du col de l'utérus de la Mongolie, du Maroc et du Myanmar, les trois premiers pays pilotes de ce projet. Il a été recommandé, notamment, que ces pays prennent des mesures visant spécialement à améliorer la prévention de ce cancer, ainsi que le dépistage, le diagnostic précoce et l'accès au traitement, notamment à la radiothérapie et aux soins palliatifs. L'évaluation des programmes de trois autres pays (la Bolivie, le Kirghizistan et la Tanzanie) sera effectuée plus tard dans l'année.

« Le choix de concentrer les efforts mondiaux sur le cancer du col de l'utérus reflète l'importance des enjeux économiques et humains liés à cette maladie, qui apparaît chez les femmes à un moment de leur vie où elles sont au sommet de leur productivité », affirme May Abdel-Wahab, directrice de la Division de la santé humaine de l'AIEA. « L'objectif de ce projet est de parvenir, d'ici 2025, à une réduction de 25 % de la mortalité par cancer du col de l'utérus dans les pays participants,

grâce à la réduction du nombre de cas et à l'amélioration du taux de survie à cette pathologie », ajoute-t-elle.

La transmission des connaissances et la formation sont essentielles pour aider à améliorer la qualité et la sûreté de la radiothérapie. « Au Myanmar, par exemple, les recommandations de l'équipe des Nations Unies ont mis en évidence, d'une part, le besoin d'une formation supplémentaire des radio-oncologues, des physiciens médicaux et des techniciens de radiothérapie dans les centres publics de radiothérapie et, d'autre part, la nécessité d'appuyer la mise à jour des compétences et la formation à l'utilisation sûre et efficace des appareils de radiothérapie », explique Rajiv Prasad, radio-oncologue de l'AIEA qui a visité le pays en tant que membre de l'équipe des Nations Unies.

L'importance de la mise en place des lignes directrices relatives au traitement du cancer du col de l'utérus et de l'instauration d'un mécanisme de référence solide pour les patientes atteintes de cette pathologie a été soulignée au cours de la visite. « La mise en place d'un vivier de professionnels formés pour appuyer les services de radiothérapie est essentielle pour évaluer le stade d'un cancer et traiter la maladie », affirme Rajiv Prasad.

Les activités menées au titre du programme commun incluent également la mise en place de plans nationaux complets de lutte contre le cancer du col de l'utérus visant à augmenter la capacité

des systèmes de santé à diagnostiquer et à traiter ce cancer, ainsi qu'à fournir des soins palliatifs.

« L'AIEA joue un rôle important dans cette initiative, la radiothérapie (radiothérapie externe et curiethérapie) étant un élément important du traitement du cancer du col de l'utérus. Plus de 70 % des femmes atteintes d'un cancer du col de l'utérus doivent recourir à la radiothérapie pour recevoir le traitement ou les soins palliatifs nécessaires », précise May Abdel-Wahab. « La radiothérapie permet de mieux lutter contre le cancer localement, dans la région pelvienne, et d'améliorer le taux de survie des patientes », ajoute-t-elle.

Le cancer du col de l'utérus peut également être évité grâce à la vaccination contre le virus du papillome humain (VPH) et à la détection précoce au moyen d'un dépistage. On estime qu'un vaccin spécial contre le cancer du col de l'utérus pourrait prévenir l'apparition de la maladie chez 600 000 femmes environ et réduire de 400 000 le nombre de décès dus à cette maladie évitable. Dans ce contexte, l'importance d'immuniser toutes les adolescentes contre le VPH et le besoin urgent d'un traitement efficace contre les lésions précancéreuses pour toutes les femmes figurent parmi les priorités du programme.

### Améliorer la prise en charge du cancer chez les femmes

Des experts internationaux vont travailler avec les six pays à revenu faible et intermédiaire sélectionnés afin de mobiliser les ressources nécessaires à une plus grande sensibilisation par des voies nationales, bilatérales et multilatérales, et de réduire la morbidité et la mortalité dues à cette maladie. L'objectif est de veiller à ce que, d'ici cinq ans, chaque pays participant ait mis en place un plan national de lutte contre le cancer du col de l'utérus qui soit opérationnel, pérenne et de qualité.

« Le cancer du col de l'utérus est un cancer que l'on peut guérir, mais qui est trop souvent détecté trop tard pour que l'on puisse prévenir la morbidité ou le décès », note May Abdel-Wahab. Une démarche proactive peut donc réduire dans une large mesure le nombre de décès par cancer du col de l'utérus.

Le mandat et le rôle, uniques en leur genre, de l'AIEA en médecine radiologique, laquelle englobe la médecine nucléaire, la radiologie diagnostique et la radiothérapie, constituent un facteur important pour la réalisation des objectifs poursuivis dans le cadre de cet effort mondial de lutte contre le cancer du col de l'utérus.

« Il est important de se doter de capacités nationales bien structurées dans les différents domaines de la médecine radiologique », affirme Rajiv Prasad. « Les capacités sont très inégales. L'accès à une radiothérapie de qualité, par exemple, est très limité dans les pays à revenu faible et intermédiaire, qui comptent 85 % de la population mondiale mais ne possèdent qu'un tiers des installations de radiothérapie du monde », ajoute-t-il.

Nicholas Banatvala, conseiller principal de l'Organisation mondiale de la Santé et de l'Équipe spéciale interorganisations des Nations Unies sur les maladies non transmissibles décrit le rôle de cette dernière dans l'aide à la collaboration entre les organismes des Nations Unies, qui vise à trouver une solution plus globale au problème des maladies non transmissibles. « En ce qui concerne le cancer du col de l'utérus, notre but est de travailler avec des partenaires mondiaux et nationaux afin de veiller à ce que chaque pays participant ait mis en place d'ici cinq ans un programme national de lutte contre le cancer du col de l'utérus qui soit opérationnel, pérenne et de qualité », dit-il.

L'AIEA et six autres organismes des Nations Unies font partie de l'Équipe spéciale interorganisations des Nations Unies sur les maladies non transmissibles, qui travaille à la prévention et à la maîtrise du cancer du col de l'utérus : l'Organisation mondiale de la Santé, le Centre international de recherche sur le cancer, le Programme commun des Nations Unies sur le VIH/sida, le Fonds des Nations Unies pour la population, le Fonds des Nations Unies pour l'enfance (UNICEF) et l'ONU Femmes.



**L'équipe internationale d'experts du programme mondial commun des Nations Unies s'est rendue en Mongolie pour élaborer des lignes directrices et formuler des recommandations en vue d'améliorer le programme national de lutte contre le cancer du col de l'utérus.**

(Photo : Bureau de pays de l'Organisation mondiale de la Santé, Mongolie)

# Une dose adéquate pour un diagnostic précis : suivi des doses de rayonnements administrées aux patients et utilisation de niveaux de référence diagnostique

Par Aabha Dixit

Dans le cadre de la radiothérapie, il est essentiel d'évaluer les niveaux de doses de rayonnements lors des actes de radiologie diagnostique, et d'utiliser les données en vue d'améliorer la qualité des examens diagnostiques et la sûreté des patients.

Environ 3,6 milliards d'actes de radiologie diagnostique sont réalisés chaque année dans le monde. Bien que les rayonnements ionisants utilisés à des fins médicales présentent de nombreux avantages, ils peuvent également accroître le risque pour le patient de souffrir par la suite d'un cancer. Envoyer une dose de rayonnements supérieure à celle nécessaire pour établir un diagnostic clinique accroît ce risque, sans pour autant procurer d'avantage supplémentaire. Idéalement, les actes d'imagerie médicale ne devraient être réalisés que lorsqu'ils sont vraiment justifiés et la quantité de rayonnements strictement nécessaire à une qualité d'image suffisante pour diagnostiquer la maladie ou la lésion ne devrait pas être dépassée.

« Le patient est au centre de tout diagnostic médical : c'est pourquoi l'évaluation de la dose et les niveaux de référence diagnostique sont reconnus comme des outils importants pour l'optimisation de la radioprotection », déclare Ehsan Samei, professeur de radiologie et de physique médicale à l'hôpital universitaire de Duke, aux États-Unis.

**L'analyse des doses de rayonnements aux patients au cours des actes de radiologie diagnostique est essentielle pour améliorer la sûreté des patients.**

(Photo : Hôpital Tokuda, Bulgarie)



« Il arrive que des patients reçoivent une dose incorrecte, ce qui peut compromettre la qualité du diagnostic. Les doses utilisées lors des procédures radiologiques doivent donc être évaluées régulièrement pour garantir la sûreté des patients et la qualité des images médicales », ajoute-t-il.

## Que sont les niveaux de référence diagnostique ?

Les niveaux de référence diagnostique sont un outil pratique qui permet aux professionnels de santé de comparer des procédures d'imagerie diagnostique à l'échelle d'un pays. Ils s'appliquent à un groupe de patients donné, comme les adultes ou des enfants d'âge ou de poids différents, et sont liés à des types d'examen médicaux particuliers, comme les rayons X, la tomodensitométrie ou les actes interventionnels sous imagerie.

« Pour garantir une imagerie efficace et précise, chaque hôpital devrait comparer ses doses locales avec les niveaux de référence diagnostique établis à l'échelon national ou régional », affirme Ehsan Samei. « Pour ce faire, nous avons besoin de différents niveaux de référence diagnostique, en fonction de l'objectif poursuivi », explique-t-il. « Par exemple, l'imagerie du cancer et l'imagerie cardiovasculaire pourraient avoir des niveaux de référence diagnostique différents. L'objectif est de disposer d'une méthode établie au niveau mondial qui serve à établir et à utiliser les niveaux de référence diagnostique », ajoute-t-il.

L'application pratique des niveaux de référence diagnostique est une tâche complexe qui requiert de bonnes connaissances de la technologie médicale et des compétences techniques pour procéder à la dosimétrie des patients et analyser la qualité des images. « Cette tâche nécessite une coordination efficace entre l'autorité de santé, les organismes professionnels compétents, l'organisme de réglementation nucléaire et les établissements médicaux désireux de participer à la collecte des données », précise Peter Johnson, directeur de la Division de la sûreté radiologique et de la sûreté du transport et des déchets de l'AIEA.

« Un cadre juridique et réglementaire complet, un programme de sensibilisation continu et des outils d'évaluation efficaces, destinés à la mise en œuvre de normes de sûreté relatives à la radioprotection des patients et adoptées au niveau international, sont également indispensables », ajoute-t-il.

## Pourquoi effectuer un suivi des données sur les doses de rayonnements ?

L'enregistrement, la notification et l'analyse précis et réguliers des doses de rayonnements envoyées aux patients dans les centres médicaux peuvent aider à améliorer la pratique et à réduire les doses sans nuire à la qualité du diagnostic. Les informations peuvent servir à établir des niveaux de référence diagnostique à l'échelle nationale ou régionale. Le suivi des informations relatives à l'exposition aux rayonnements de chaque patient peut également aider à prévenir les expositions inutiles.

Le personnel médical doit suivre des règles strictes et est formé pour veiller à la sûreté des patients qui reçoivent des radio-isotopes à des fins diagnostiques ou thérapeutiques.

« Les patients passent parfois par plusieurs établissements d'imagerie. De nouveaux tests sont effectués, ce qui veut dire que les examens radiologiques sont refaits », explique Simone Kodlulovich, présidente de l'Association latino-américaine de physique médicale (AFLIM). « Ce qui manque dans de nombreux pays, c'est un système de suivi des doses. Nous devons être plus cohérents et suivre les lignes directrices établies avec plus de diligence », poursuit-elle.

Les examens d'imagerie effectués chez les enfants, dont la sensibilité aux rayonnements est plus élevée, requièrent également une attention particulière de la part des professionnels de santé. Le contrôle des doses administrées aux enfants dans les établissements médicaux contribue à améliorer les résultats cliniques et à réduire les risques. « En l'absence d'orientations adéquates et spécialisées, l'imagerie peut causer une augmentation sensible de l'exposition des patients aux rayonnements ionisants », explique Simone Kodlulovich.

## Coopérer et coordonner pour limiter l'exposition

Les progrès rapides réalisés en imagerie médicale offrent de nouvelles occasions de procéder à un suivi automatique des doses administrées aux patients et à l'établissement de niveaux de référence. « Dans certains pays dotés de systèmes électroniques plus avancés, les premiers résultats sont très prometteurs », affirme Ehsan Samei. De plus, il est nécessaire que les fabricants de matériel médical et les concepteurs de logiciels spécialisés de suivi des doses participent plus étroitement à l'établissement de normes adéquates et à la coordination des améliorations à venir.

## Ce qu'il faut savoir

Deux grands principes de la radioprotection, la justification et l'optimisation, s'appliquent à l'exposition des patients qui subissent des actes de radiologie médicale.

La justification de l'exposition médicale consiste à mettre en balance les effets bénéfiques de l'exposition sur le plan diagnostique ou thérapeutique et les risques qu'elle présente, et à prendre en compte les avantages et les risques d'autres



## Les enfants sont plus sensibles aux doses de rayonnements que les adultes.

(Photo : Hôpital McMaster pour enfants, Canada)

techniques qui ne font pas intervenir d'exposition aux rayonnements ionisants.

Lors du diagnostic et de l'exposition médicale interventionnelle, l'optimisation de la protection et de la sûreté suppose la limitation de l'exposition des patients au niveau minimum nécessaire pour atteindre l'objectif diagnostique ou interventionnel.

La limite de dose ne s'applique pas aux situations d'exposition médicale, car elle pourrait restreindre les effets bénéfiques des rayonnements pour le patient.

# Albanie : un traitement radiothérapeutique amélioré avec l'appui de l'AIEA

Par Jeremy Li



**Deux membres du personnel médical préparent une séance de traitement radiothérapeutique avec le premier linac du service de radiothérapie du Centre hospitalier universitaire Mère Teresa, à Tirana.**

(Photo : Centre hospitalier universitaire Mère Teresa, Albanie)

En raison du manque de matériel et d'installations appropriés pour la prise en charge du cancer dans les pays en développement, de nombreux patients ne peuvent bénéficier d'un traitement. Les appareils de radiothérapie constituent un élément essentiel pour le traitement efficace du cancer, mais leur coût d'achat et d'entretien est élevé. Avec l'appui de l'AIEA, l'Albanie a pu se doter de services de radiothérapie destinés aux patients atteints de cancer, et elle s'équipe à présent d'un autre accélérateur linéaire (linac) de pointe.

En Albanie, le cancer demeure un problème majeur de santé publique. Selon la ministre de la Santé, il constitue la deuxième cause de mortalité dans le pays (16,6 % des décès), après les maladies cardiovasculaires. On recense environ 7 140 nouveaux patients atteints de cancer par an, parmi lesquels 3 900 ont besoin d'une radiothérapie dans le cadre de leur traitement. L'Albanie compte 3,3 millions d'habitants et possède actuellement cinq appareils de radiothérapie : un appareil de radiothérapie externe au cobalt 60 et un linac dans le service de

radiothérapie du Centre hospitalier universitaire Mère Teresa, situé dans la capitale, Tirana, ainsi qu'un linac dans le service de neurochirurgie de ce même centre et deux linacs dans des cabinets privés.

En 2015, le Gouvernement autrichien a aidé l'Albanie à acquérir le premier linac destiné au service de radiothérapie du Centre hospitalier universitaire. L'AIEA a contribué à la mise en service de l'appareil et a participé à la formation du personnel médical en matière d'utilisation du matériel et de sûreté radiologique.

L'AIEA aide également l'Albanie à mettre en place, d'ici fin 2017, un deuxième linac dans ce centre. « L'AIEA fournit notamment du matériel servant à évaluer l'intensité des rayonnements dans le cadre de l'assurance de la qualité et aide à faire en sorte que l'appareil soit correctement étalonné et que les patients reçoivent les doses prescrites », explique Brendan Healy, radio-physicien médical à l'AIEA.



**Le premier linac du service de radiothérapie du Centre hospitalier universitaire Mère Teresa, à Tirana.**

(Photo : Centre hospitalier universitaire Mère Teresa, Albanie)

## Intégrer les appareils de radiothérapie externe au cobalt 60 et les linacs dans le traitement du cancer

Les linacs et les appareils de radiothérapie externe au cobalt 60 ( $^{60}\text{Co}$ ) font partie du matériel le plus utilisé en téléthérapie, technique qui utilise des faisceaux de haute énergie pour tuer les cellules tumorales. Les appareils au  $^{60}\text{Co}$  et les linacs sont utilisés dans le traitement du cancer depuis les années 1950.

Il n'existe pas de procédure-type en matière de radiothérapie. « Le choix du matériel devrait résulter d'une analyse minutieuse tenant compte non seulement des caractéristiques technologiques des appareils, mais aussi des infrastructures locales, des exigences en matière d'entretien, de l'accessibilité financière et de la disponibilité d'un personnel bien formé », affirme May Abdel-Wahab, directrice de la Division de la santé humaine de l'AIEA.

« Nous voulons que les États Membres soient pleinement informés des différentes infrastructures nécessaires à une utilisation efficace du matériel de radiothérapie, avant de faire l'acquisition d'un appareil », ajoute-t-elle.

## Veiller à la sûreté : formation et bourses

La complexité des processus de radiothérapie est telle que les radio-oncologues, les médecins et les radiothérapeutes (les trois groupes de professionnels de santé qui jouent un rôle essentiel dans le traitement) doivent suivre une formation rigoureuse afin de garantir un acte sûr et réussi pour le patient, mais aussi leur propre sûreté.

Lorsqu'un appareil de radiothérapie est livré à un pays et est sur le point d'être utilisé en milieu clinique, l'AIEA fournit au pays bénéficiaire un soutien sous trois formes : elle organise une formation spécifique à l'utilisation de l'appareil, dispensée par le fabricant ; elle oriente les professionnels de santé vers des pays offrant des bourses et disposant déjà d'un matériel similaire en service ; et elle envoie des experts afin de contrôler le processus de mise en service, en vue de garantir son efficacité et sa sûreté.

# La collaboration de tous est indispensable pour gagner le combat contre le cancer

Par Kim Simplis Barrow, première dame du Belize



**A**yant moi-même survécu à un cancer et en tant qu'envoyée spéciale du Belize pour les femmes et les enfants, j'ai notamment pour principal objectif de réduire la charge du cancer et de donner espoir à ceux qui souffrent de cette maladie et de ses multiples manifestations.

Bien que mon pays soit une petite nation aux ressources limitées, je suis intimement convaincue qu'en

collaborant, nous pouvons faire plus pour garantir à tous et partout l'accès à des services de prévention et de traitement du cancer efficaces, abordables et complets. Cette conviction est le résultat de toutes les initiatives fructueuses que j'ai prises en tant qu'envoyée spéciale pour les femmes et les enfants : la construction du Centre de l'Inspiration, qui dispose d'installations destinées aux enfants handicapés, et d'une unité moderne de soins intensifs néonataux et pédiatriques à l'hôpital de référence nationale du Belize, l'Hôpital mémorial de Karl Heusner.

Compte tenu de mon expérience personnelle, je suis pleinement consciente de l'importance de la détection précoce du cancer, de l'accès à l'information et de la mise à disposition de services de traitement appropriés. De plus, je m'emploie en faveur de l'intégration des initiatives de lutte contre le cancer dans les programmes de santé et de développement du Belize.

D'après l'Organisation panaméricaine de la Santé, le cancer est la première cause de mortalité dans notre région et, au vu de la situation actuelle, on s'attend à ce que le nombre de décès par cancer soit quasiment multiplié par deux d'ici 2030.

Le Belize compte un peu plus de 370 000 habitants, dont plus de la moitié vit dans la pauvreté. Les statistiques publiées par le Ministère de la santé montrent que le cancer demeure la troisième cause de mortalité dans le pays. Le Belize, ainsi que d'autres pays à revenu faible et intermédiaire, a pris conscience de l'ampleur du problème que pose cette maladie et de ses effets dévastateurs sur l'économie et le développement global d'un pays.

Moi qui ai survécu à un cancer du sein, je fais partie d'une minorité de personnes dans mon pays qui ont pu se rendre à l'étranger et recevoir des soins oncologiques. J'ai eu la chance de recevoir des soins médicaux et un soutien d'excellente qualité lors de mon

séjour. En Amérique latine et dans les Caraïbes, trop de patients reçoivent encore un diagnostic et des soins tardifs, à cause du manque de personnel et de traitements oncologiques essentiels dans ces pays. Compte tenu de la grande pauvreté de nombreuses familles, le traitement du cancer est très souvent inabordable, ou n'est possible que grâce à l'intervention de la communauté. Ces facteurs ont un impact sur la vie des familles touchées par le cancer et se traduisent souvent par de faibles taux de survie.

Des services de chimiothérapie ont récemment été mis à la disposition de la population, grâce à la générosité d'un oncologue bélizien et de son équipe dévouée. Cependant, de manière générale, la gestion des complications relatives au traitement du cancer et des problèmes physiologiques et psychosociaux qui influent sur la survie du patient est loin d'être optimale au sein du système de santé. Nous devons nous employer à résoudre ces problèmes si nous voulons fournir des services de santé équitables, accessibles, abordables et de qualité.

En outre, je mène une initiative visant à créer un centre de cancérologie qui fournira des services complets d'oncologie et, à terme, épargnera aux patients un déplacement à l'étranger et les coûts associés. Compte tenu de mon expérience en matière de création de centres d'excellence, je cherche à collaborer avec des organisations comme l'AIEA et des organismes donateurs à la formation des oncologues, des infirmiers et de tout le personnel nécessaire à la mise en œuvre d'un programme complet de soins anticancéreux.

Nous sommes conscients de l'importance des partenariats et reconnaissants envers l'AIEA pour la mission d'experts menée au Belize en décembre 2016, au cours de laquelle les arrangements de notre pays en matière de prise en charge du cancer ont été évalués de manière approfondie. Nous nous préparons à une deuxième évaluation par l'AIEA, qui visera à déterminer le site géographique le plus approprié pour la création d'un centre de cancérologie destiné à la population du Belize. Le combat contre le cancer ne pourra être gagné que si nous collaborons tous. L'appui de l'AIEA, de l'Organisation mondiale de la Santé et d'autres organisations mondiales est essentiel à la lutte contre le cancer dans les pays en développement, comme le Belize.

# L'appui de l'AIEA dans le domaine de la santé humaine

Par May Abdel-Wahab, directrice de la Division de la santé humaine de l'AIEA



Des progrès exceptionnels ont été accomplis en médecine au cours du siècle dernier, notamment avec la découverte des rayonnements et des radionucléides. Ainsi, les activités de prévention et de diagnostic de nombreuses affections, ainsi que les options thérapeutiques, se sont diversifiées et ont gagné en efficacité.

Des maladies comme le cancer peuvent maintenant être diagnostiquées plus tôt et traitées plus efficacement à l'aide des techniques nucléaires, ce qui donne aux patients une chance de combattre la maladie et, à beaucoup d'entre eux, de grandes chances de la vaincre.

Toutefois, l'augmentation chaque année du nombre de personnes souffrant de maladies non transmissibles, comme le cancer ou les maladies neurologiques et cardiovasculaires, exerce une forte pression sur les systèmes de santé et les dirigeants du monde entier, contraignant ces derniers à trouver des solutions efficaces, malgré la rareté, voire l'absence, des ressources permettant de diagnostiquer et de traiter ces maladies. Le programme de santé humaine de l'AIEA contribue aux efforts actuellement déployés à l'échelle mondiale pour répondre à ces difficultés et renforcer les capacités des États Membres.

Ce programme fournit une approche complète de la prévention, du diagnostic et du traitement des maladies non transmissibles en se concentrant sur quatre domaines principaux : la nutrition, le diagnostic et le suivi, la radio-oncologie et la radiothérapie, et l'assurance de la qualité. Il contribue ainsi à la réalisation de l'un des objectifs de développement durable des Nations Unies : l'objectif 3, bonne santé et bien-être.

Le bien-être humain repose avant tout sur une bonne nutrition. L'AIEA appuie les objectifs de développement durable grâce à l'application des techniques nucléaires, en particulier l'utilisation des isotopes stables pour la prévention des maladies et une vie en bonne santé. Elle renforce les capacités des pays et aide ceux-ci à lutter contre la malnutrition sous toutes ses formes et à promouvoir l'amélioration de la santé tout au long de la vie en encourageant l'utilisation de techniques nucléaires précises (notamment celles faisant appel aux isotopes stables) pour concevoir et évaluer des interventions, en mettant en particulier l'accent sur l'alimentation du nourrisson et du jeune enfant, la nutrition maternelle et de l'adolescent, des régimes alimentaires de qualité, la prévention et la lutte contre les maladies non transmissibles, et le vieillissement en bonne santé.

L'AIEA, consciente que les ressources disponibles dans le domaine de la santé varient considérablement entre les régions et au sein de celles-ci, élabore des stratégies d'aide aux États Membres en vue d'optimiser leurs ressources sans compromettre la qualité des services fournis. Ceci implique une sélection méticuleuse des options thérapeutiques, laquelle requiert une bonne compréhension de la maladie et de son stade d'évolution. La médecine nucléaire et l'imagerie diagnostique jouent un rôle déterminant dans le

diagnostic et la prise en charge des maladies non transmissibles. L'imagerie permet d'effectuer un dépistage chez les populations à risque, de poser un diagnostic précoce et précis et d'établir un pronostic raisonné, opérations qui permettent la prise de décisions thérapeutiques judicieuses et un suivi approprié du traitement. De plus, l'AIEA fournit des compétences techniques en radiothérapie, domaine qui implique l'utilisation de rayonnements ionisants dans le cadre du traitement du cancer ou de certaines affections bénignes.

## Former les professionnels

Le manque de professionnels qualifiés est un des principaux obstacles à la modernisation et à l'extension des services de radiothérapie, dont les pays en développement ont tellement besoin. Une planification adéquate des ressources humaines doit aller de pair avec les investissements des gouvernements dans du matériel. La priorité est d'aider à la formation théorique et pratique initiale des spécialistes de la radiothérapie, tels que les physiciens médicaux, les manipulateurs en radiothérapie et les radio-oncologues, ainsi qu'à la formation continue des professionnels déjà formés, afin d'actualiser ou de développer leurs connaissances et leurs compétences.

L'objectif de l'AIEA est de renforcer la capacité des États Membres à élaborer des politiques judicieuses relatives à la radiothérapie, au traitement du cancer et aux autres applications des rayonnements dans le domaine de la santé humaine. Les autres activités de recherche incluent les applications de la radiobiologie, principalement dans les domaines de la dosimétrie biologique clinique, de la stérilisation des tissus pour les banques de tissus et des surfaces et supports instructifs destinés à l'ingénierie tissulaire.

On estime à 10 millions le nombre de personnes qui se soumettent chaque jour à des actes diagnostiques, thérapeutiques ou interventionnels nécessitant des rayonnements. Bien que la majorité de ces actes soient effectués de manière sûre et adéquate, il existe des situations où la radioprotection et la sûreté sont insuffisantes ou défectueuses, ce qui constitue un risque pour le patient. C'est pourquoi le travail et le mandat de l'AIEA consistent notamment à garantir la sûreté de l'exécution des procédures radiologiques.

Les méthodes utilisées pour l'imagerie et le traitement nécessitent une dosimétrie précise et des procédures d'assurance de la qualité complexes afin de garantir des résultats cliniques appropriés qui ne compromettent pas la sûreté du patient. L'AIEA élabore des codes de bonne pratique et des lignes directrices sur la dosimétrie et l'assurance de la qualité harmonisés à l'échelle internationale, ainsi que des recommandations concernant les meilleures pratiques. Elle fournit également aux États Membres des orientations relatives à leur mise en œuvre. Elle gère par ailleurs un laboratoire de dosimétrie, qui joue un rôle essentiel dans l'élaboration et la diffusion des meilleures pratiques en vue de l'utilisation sûre, sécurisée et efficace des rayonnements à des fins de diagnostic et de traitement du cancer.

Pour de plus amples informations, rendez-vous sur [www.iaea.org](http://www.iaea.org) et sur le site web du Human Health Campus (<https://humanhealth.iaea.org/hhw>).

## Bénin : des agriculteurs triplent leurs rendements et améliorent leurs conditions de vie grâce à une technique isotopique



**Félix Kouelo Alladassi, professeur adjoint spécialiste de la préservation des sols et des ressources en eau à l'Université d'Abomey-Calavi, prépare des plants de soja dans le cadre d'une expérience faisant appel à des techniques isotopiques.**

*(Photo : M. Gaspar/AIEA)*

Léonard Djegui, cultivateur de soja, n'a pas eu la chance d'aller à l'école, mais il a appris deux choses se rapportant à la science nucléaire ces dernières années : ses terres sont constituées d'atomes et ceux-ci lui ont permis de multiplier ses revenus par trois. Ainsi, il peut se faire construire une nouvelle maison et envoyer ses enfants à l'université.

Il n'est pas le seul dans ce cas : quelque 14 000 agriculteurs du centre et du nord du Bénin ont réussi à améliorer considérablement le rendement de leurs cultures de maïs et de légumineuses, comme le soja. Ils ont donc plus de nourriture pour leur famille et des revenus bien plus élevés que ceux dont ils auraient pu rêver quelques années plus tôt.

« Je ne suis jamais allé à l'école mais je sais que la science est importante », confie Léonard Djegui, fier de montrer sa nouvelle maison de briques, qui remplace son ancienne hutte de terre. « Grâce à elle, mon maïs et mon soja poussent mieux et la récolte est plus abondante », poursuit-il.

Le secret réside dans l'utilisation de techniques isotopiques et dérivées du nucléaire pour mesurer et augmenter de manière adéquate la quantité d'azote, élément nécessaire à la croissance des

plantes, absorbée par les cultures (voir l'encadré « En savoir plus »). « Les légumineuses, comme le soja ou l'arachide, sont capables de prélever l'azote de l'air et de le transférer dans le sol, rendant les terres plus fertiles pour le maïs qui sera cultivé la saison suivante », explique Pascal Hounngandan, vice-président de l'Université nationale d'agriculture et directeur de la microbiologie du sol à l'Université d'Abomey-Calavi, principal établissement de recherche du pays, situé juste à la périphérie de la capitale, Cotonou. Les cultures intercalaires de maïs et de légumineuses permettent d'obtenir un rendement plus important de ces deux types de cultures. Selon le type de sols, elles permettent aux agriculteurs d'utiliser peu d'engrais commerciaux, voire de s'en passer complètement, et donc de réaliser une économie.

En coopération avec l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), l'AIEA a soutenu le projet en fournissant des conseils spécialisés et en aidant Pascal Hounngandan et son équipe à interpréter les données recueillies. Dans le cadre de son programme de coopération technique, elle a aussi fourni le matériel et la formation nécessaires, qui ont permis aux chercheurs non seulement de mener

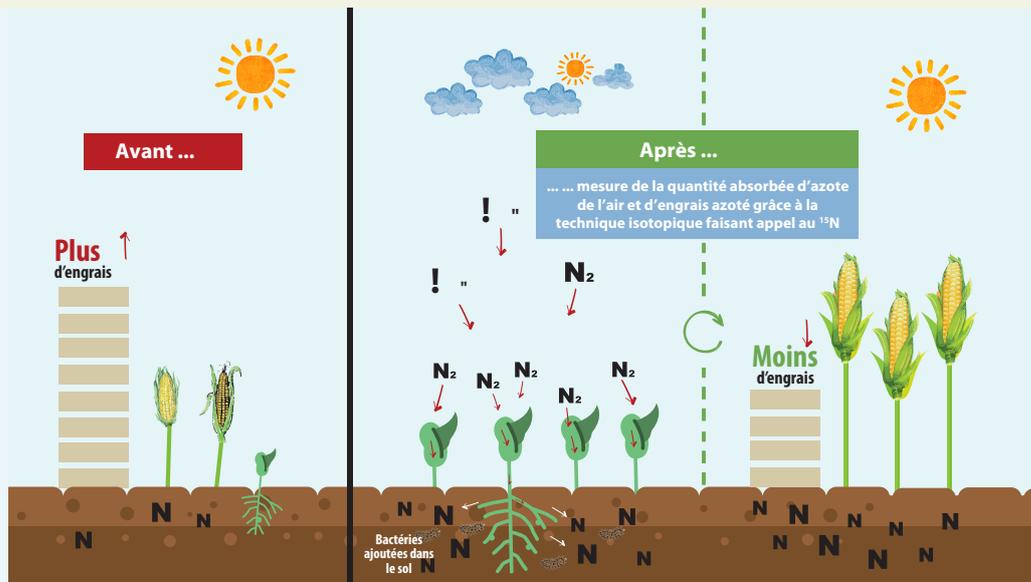
des expériences mais aussi de produire les bactéries dont les légumineuses ont besoin pour absorber plus d'azote de l'air.

« Des scientifiques de 70 pays bénéficient d'une aide de ce type, notamment d'un appui visant à adapter la méthode aux cultures et aux types de sols spécifiques à leur pays », indique Joseph Adu-Gyamfi, spécialiste de la gestion de la fertilité des sols à la Division mixte FAO/AIEA des techniques nucléaires dans l'alimentation et l'agriculture.

### Mélanger les semences et les bactéries

En juin, au début de la saison des semences, Léonard Djegui et ses voisins sont affairés à mélanger les bactéries reçues du laboratoire avec les graines de soja qui vont être plantées dans les semaines à venir. Pendant ce temps, d'autres travailleurs agricoles de ce village de 1 000 habitants désherbent les friches environnantes pour pouvoir faire pousser plus de soja.

Albert Ahotondji, un voisin de Léonard Djegui, cultive aujourd'hui du soja sur six hectares de terrain, alors qu'il en cultivait sur deux hectares seulement



La technique isotopique faisant appel à l'azote 15 permet aux scientifiques de mesurer la quantité d'azote de l'air que les légumineuses absorbent et transfèrent dans le sol, améliorant la fertilité de celui-ci pour les autres cultures, le maïs dans le cas présent. La capacité des légumineuses à fixer l'azote peut aussi être améliorée grâce à des bactéries.

(Infographie : F. Nassif/AIEA)

il y a deux ans. Il n'avait alors pas assez d'argent pour acheter des semences et des engrais pour toutes ses terres, et une partie était laissée en jachère forcée. Il gagne maintenant suffisamment pour cultiver toutes ses terres et peut même mettre de l'argent de côté pour envoyer ses enfants à l'université. « Je pourrai leur payer une chambre en ville », déclare-t-il avec fierté.

C'est la quatrième saison consécutive que les petits agriculteurs du village utilisent des bactéries achetées à l'université par l'intermédiaire de vulgarisateurs agricoles, qui leur ont aussi montré comment améliorer leurs pratiques agricoles.

« Il y a 100 000 cultivateurs de soja au Bénin et l'utilisation de ces nouvelles techniques se répand rapidement », indique Fortuné Amonsou Biaou, directeur exécutif de l'Union nationale des producteurs de soja du Bénin. « Il est fréquent de voir les rendements tripler ou même quadrupler », poursuit-il. Selon les régions, les agriculteurs récoltaient auparavant entre 500 et 800 kilogrammes de soja par hectare. Ils en récoltent aujourd'hui entre 1,2 et 2 tonnes par hectare. Cette augmentation est particulièrement importante du fait que le Bénin est un pays essentiellement agricole : plus de la moitié de la population travaille dans le secteur agricole, qui représente 40 % de l'économie.

Le soja est utilisé pour produire de l'huile végétale et des aliments pour animaux. C'est aussi un produit d'exportation majeur sur les marchés régionaux. « L'augmentation du rendement de maïs permet d'améliorer la sécurité alimentaire pour les populations rurales, et une production de soja accrue va de pair avec une augmentation des revenus

disponibles », explique Fortuné Amonsou Biaou.

Pascal Hounngandan a fondé le laboratoire en 2002 pour étudier l'effet des cultures intercalaires sur les rendements. Les travaux sur l'utilisation de techniques isotopiques et les inoculum ont commencé quelques années plus tard, et les expériences in situ ont démarré en 2008. Quelques agriculteurs ont commencé à utiliser la technique dans le cadre d'un projet pilote en 2011, puis celle-ci a été mise en œuvre à grande échelle en 2013, quand l'association des cultivateurs et les autorités agricoles locales ont aidé à favoriser son utilisation. Au cours de la saison de culture 2016-2017, le laboratoire a produit 16 000 sacs d'inoculum bactériens sous forme d'engrais biologiques.

« Il nous a fallu du temps pour mettre en œuvre cette technique à grande échelle, mais aujourd'hui, les résultats sont probants », explique Pascal Hounngandan tout en montrant comment s'utilise le matériel fourni par l'AIEA. « J'espère que dans quelques années tous les agriculteurs auront recours à cette technique », conclut-il.

### En savoir plus : l'absorption de l'azote de l'air

Les scientifiques savent depuis des décennies que les légumineuses peuvent prélever l'azote de l'air et le transférer dans la plante ou dans le sol, améliorant la fertilité des sols. Cependant, c'est depuis peu qu'ils sont capables de mesurer précisément la quantité d'azote que chaque

type de culture peut absorber et qu'ils savent comment améliorer la capacité des légumineuses à fixer cet élément.

Quand on inocule une dose de bactéries à des légumineuses, la capacité de celles-ci à fixer l'azote de l'air augmente considérablement, car les bactéries facilitent le développement des nodules fixateurs d'azote, situés dans les racines de ces plantes. Les chercheurs de la Division mixte FAO/AIEA ont favorisé l'utilisation de la technique isotopique faisant appel à l'azote 15 pour déterminer la quantité d'azote de l'air absorbée par les légumineuses. Cette technique est fondée sur l'utilisation d'un isotope de l'azote marqué, qui présente les mêmes propriétés chimiques que l'azote ordinaire mais compte un neutron supplémentaire, lequel permet le suivi de cet isotope. La méthode de l'azote 15 peut aussi être utilisée pour estimer l'efficacité avec laquelle les cultures céréalières, comme le maïs, le riz et le blé, absorbent l'engrais azoté épanché pour maximiser leur rendement.

— Par Miklos Gaspar

## Une nouvelle appli aide les services douaniers à améliorer la détection des rayonnements aux fins de la sécurité nucléaire



Tous les camions qui entrent dans les ports cambodgiens ou en sortent franchissent un portique de détection des rayonnements (panneaux blancs munis de boutons rouges, orange et bleus). Un tiers des véhicules qui transitent par le port de Phnom Penh déclenchent l'alarme, alors qu'ils n'émettent parfois que des quantités insignifiantes de rayonnements naturels. Une nouvelle application mise au point par l'AIEA va aider les douaniers à repérer les véhicules réellement susceptibles de contenir des matières radioactives passées en contrebande.

(M. Gaspar/AIEA)

Mengsrom Song et ses collègues des services douaniers sont habitués au son de l'alarme des instruments de détection des rayonnements. Un tiers des véhicules de transport de marchandises qui transitent par le port autonome de Phnom Penh déclenchent l'alarme des portiques sensibles de détection des rayonnements, destinés à intercepter les matières nucléaires et les sources de rayonnements passées en contrebande.

« Mais depuis l'installation du nouveau dispositif, en juillet 2016, toutes les alertes ont été provoquées par des matériaux tels que des carreaux, des engrais et des matériaux de construction », précise Mengsrom Song, responsable adjoint du bureau des douanes de ce port, situé sur le Mékong, juste à la périphérie de la capitale du Cambodge, Phnom Penh,

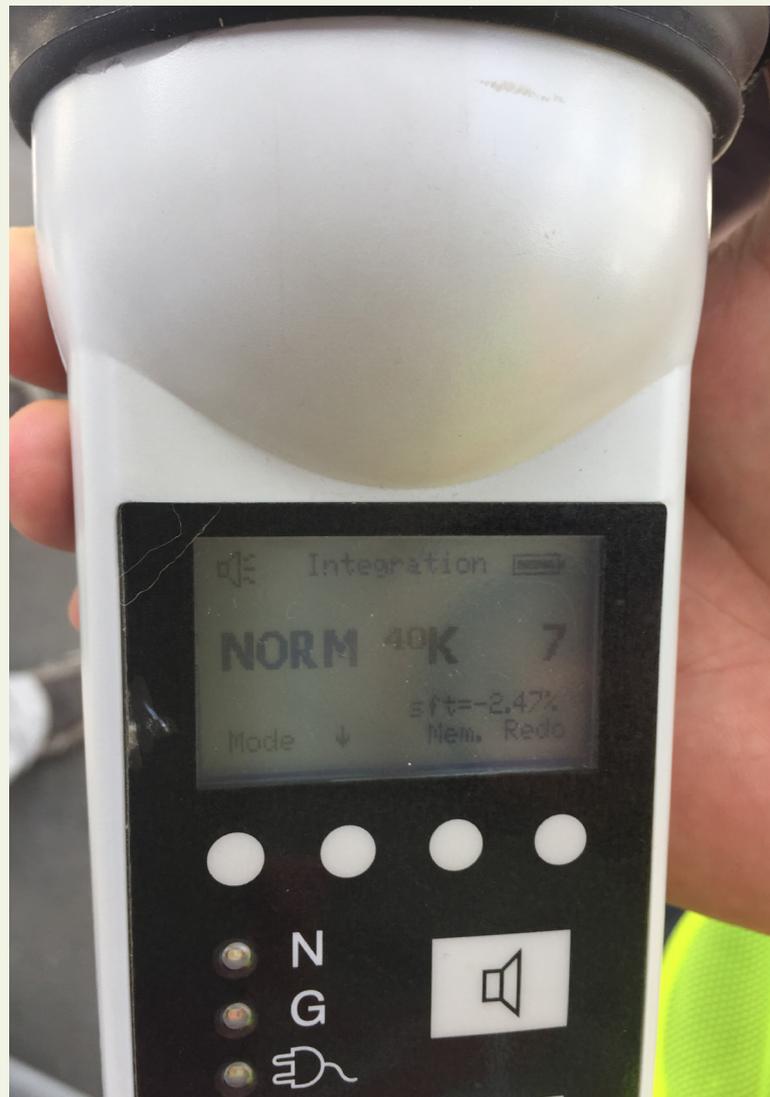
par lequel transitent un quart des flux du commerce extérieur du pays.

« L'évaluation des alarmes des instruments de détection des rayonnements constitue pour nous un défi de taille, qui nécessite de mener des dizaines d'inspections secondaires de conteneurs par jour », explique Mengsrom Song. « Ces opérations requièrent du temps et des ressources, et nous empêchent de nous consacrer à d'autres travaux », ajoute-t-il. Les inspections secondaires impliquent en effet l'utilisation de dispositifs portatifs d'identification de radionucléides, permettant de déterminer la quantité, le type et la source des rayonnements émis, et cette opération prend du temps. À cela s'ajoute l'analyse des données fournies par le portique de détection des

rayonnements, visant à vérifier la nature et l'origine des marchandises.

Une nouvelle application pour smartphones, lancée par l'AIEA, permet maintenant de distinguer les alarmes déclenchées par des quantités insignifiantes de rayonnements naturels et celles qui signalent un risque potentiel du point de vue de la sécurité et justifient une enquête approfondie.

Cette application est le résultat d'un projet de recherche coordonnée de l'AIEA visant à améliorer l'évaluation des alarmes initiales. Des chercheurs de l'AIEA ont collaboré avec 20 pays en vue d'améliorer ce processus d'évaluation. Ils ont mis au point des outils et des algorithmes devant permettre au logiciel de détection de différencier les rayonnements



**Un douanier procède à l'inspection secondaire d'un camion ayant déclenché l'alarme de l'instrument de détection de rayonnements du port. Le dispositif portable confirme que le déclenchement de l'alarme est dû à des quantités insignifiantes de rayonnements naturels émis par du potassium 40, et non par des sources radioactives ou des matières nucléaires passées en contrebande.**

(M. Gaspar/AIEA)

naturels de ceux provenant de sources artificielles susceptibles d'être passées en contrebande.

L'application est disponible sur iTunes et Google Play.

« Il s'agit, dans ce projet de recherche, de pouvoir distinguer les caractéristiques des rayonnements émis par ces différentes substances », affirme Charles Massey, membre du Bureau de la sécurité nucléaire de l'AIEA chargé de la coordination de la recherche. La distinction ne peut se fonder sur la quantité de rayonnements, car les détecteurs doivent pouvoir aussi déceler des quantités minimales de matières nucléaires ou d'autres matières radioactives. C'est pourquoi les chercheurs étudient des moyens de déterminer les caractéristiques des rayonnements émis en fonction des

différents isotopes constitutifs de chaque matière. Le logiciel devra être capable de repérer et d'enregistrer ces données afin de pouvoir ignorer des rayonnements qui auraient les mêmes caractéristiques mais seraient émis par des sources naturelles. Ces moyens d'identification permettraient de ne pas faire cas de la plupart des fausses alertes, et donc de ne retenir que les cas suspects.

Les chercheurs travaillent à la conception de nouveaux algorithmes destinés aux programmes du logiciel qui seront installés dans les systèmes de détection. En attendant, la nouvelle application, appelée TRACE (outil permettant d'évaluer les alarmes provenant d'instruments de détection des rayonnements et les produits), fournit un récapitulatif détaillé des substances radioactives naturelles et de leurs

caractéristiques radiologiques. « Il s'agit d'un progrès important, car l'utilisation de l'application va permettre de décider plus rapidement si un conteneur ayant déclenché l'alarme nécessite ou non un examen plus poussé », affirme Sokkim Kreng, douanier travaillant dans le plus grand port du Cambodge, à Sihanoukville.

L'AIEA recommande aux pays d'utiliser le matériel de détection radiologique dans le cadre de leurs programmes de sécurité nucléaire nationaux, afin de contrôler les exportations et les importations de marchandises commerciales, et d'intercepter les matières nucléaires et radioactives de contrebande.

— Par Miklos Gaspar

## Conclusions relatives aux garanties nucléaires présentées dans le rapport sur l'application des garanties pour 2016



**Le Laboratoire des échantillons de l'environnement de l'AIEA, situé à Seibersdorf (Autriche), travaille pour le Département des garanties.**

(Photo : D. Calma/AIEA)

En 2016, pour 69 pays, l'AIEA a pu conclure que toutes les matières nucléaires étaient restées affectées à des activités pacifiques. Pour 104 autres pays, elle a conclu que les matières nucléaires déclarées étaient restées affectées à des activités pacifiques. Ces informations ont été présentées au Conseil des gouverneurs de l'AIEA le 14 juin 2017, dans le rapport annuel sur l'application des garanties.

« Nos conclusions relatives aux garanties sont très importantes pour les États Membres », déclare Yukiya Amano, Directeur général de l'AIEA. « Elles sont fondées sur un examen technique rigoureux des informations, notamment

celles recueillies par nos inspecteurs sur le terrain et celles résultant de l'analyse effectuée par des experts au siège de l'AIEA au cours de l'année passée », ajoute-t-il.

Le type de conclusion auquel parvient l'AIEA pour un État varie en fonction du type d'accord de garanties qui la lie à cet État. Pour de plus amples informations sur les différents types d'accords de garanties nucléaires, rendez-vous sur le site suivant (en anglais) :

<https://www.iaea.org/topics/safeguards-legal-framework>.

C'est seulement pour les États qui ont un accord de garanties généralisées et un protocole additionnel en vigueur que l'AIEA dispose d'informations et d'accès suffisants pour donner une assurance crédible à la communauté internationale, non seulement quant au non-détournement de matières nucléaires déclarées à des fins non pacifiques, mais aussi quant à l'absence de matières et d'activités nucléaires non déclarées.

Pour trois États qui ne sont pas parties au Traité sur la non-prolifération des armes nucléaires (TNP) et qui ont des accords de garanties relatifs à des éléments particuliers en vigueur, l'AIEA

# Application des garanties en 2016

# 2016

Prévenir la prolifération des armes nucléaires

## Qu'avons-nous accompli en 2016 ?

Nous avons conclu que dans

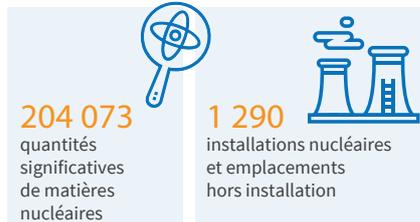


## Quels ont été nos moyens ?

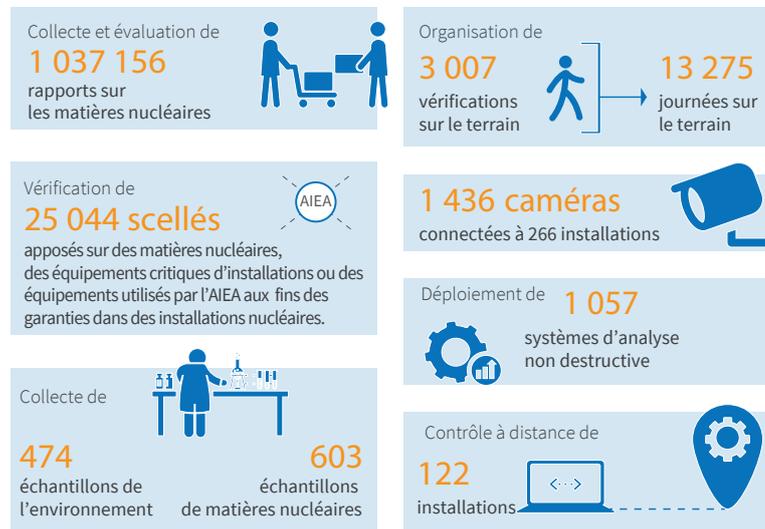
Notre cadre juridique



La portée des garanties



Notre processus de vérification



Nos ressources



a conclu que les matières nucléaires, les installations ou d'autres éléments soumis aux garanties étaient restés affectés à des activités pacifiques.

Pour les cinq États signataires du TNP dotés d'armes nucléaires et ayant des accords de soumission volontaire en vigueur, l'AIEA a conclu que les matières nucléaires présentes dans les installations sélectionnées étaient restées affectées à des activités pacifiques ou avaient été retirées des garanties, conformément aux dispositions des accords.

En 2016, 12 États parties au TNP n'avaient pas encore mis en vigueur d'accord de garanties généralisées avec

l'AIEA comme le prévoit l'article III du Traité. Pour ces États parties, l'AIEA n'a pu tirer aucune conclusion relative aux garanties.

L'infographie ci-dessus fournit des renseignements supplémentaires sur les activités de vérification et de contrôle menées par l'AIEA en 2016.

### Que sont les garanties ?

Les garanties recouvrent un ensemble de mesures techniques par lesquelles l'AIEA a pour mission de vérifier qu'un État honore ses engagements internationaux et n'utilise pas ses programmes nucléaires

civils à des fins militaires. En vertu du TNP, les États non dotés d'armes nucléaires sont tenus de conclure un accord de garanties généralisées avec l'AIEA et de se soumettre à ces garanties. Les pays qui ont des accords de garanties généralisées en vigueur doivent déclarer à l'AIEA toutes les matières et installations nucléaires qu'ils possèdent. L'AIEA vérifie ensuite ces déclarations de façon indépendante. Cet accord de garanties peut être complété par un protocole additionnel, qui accroît considérablement la capacité de l'AIEA à vérifier l'utilisation pacifique de toutes les matières nucléaires d'un État.



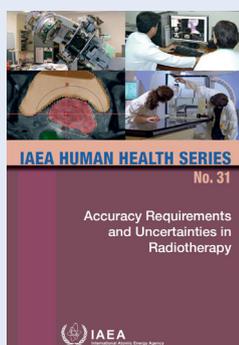
## La radiothérapie dans les soins anticancéreux : un enjeu mondial

La publication intitulée *Radiotherapy in Cancer Care: Facing the Global Challenge* offre une vue d'ensemble des principaux thèmes et questions devant être pris en compte lors de l'élaboration d'une stratégie de diagnostic et de traitement du cancer, en particulier dans les pays à revenu faible et intermédiaire. Le traitement du cancer est complexe et requiert des services divers. Il est reconnu que la radiothérapie est essentielle dans le traitement de cette maladie et les soins palliatifs.

Actuellement, l'accès au traitement radiologique est limité dans de nombreux pays et inexistant dans d'autres. Ce manque de ressources en radiothérapie accroît la charge du cancer et souligne les disparités persistantes entre les États en matière de soins de santé. Il est nécessaire de combler les écarts afin de faire face à ce problème d'inégalité en matière de santé à l'échelle mondiale.

Cette publication, qui comprend des contributions de spécialistes du domaine, présente les réalisations en matière d'utilisation de la radiothérapie comme modalité de traitement du cancer dans le monde entier, et les questions que celle-ci soulève. Elle contient des chapitres consacrés à la protonthérapie, à la radiothérapie par ions carbone, à la radiothérapie peropératoire, à la radiothérapie pour enfants et aux affections malignes liées au VIH/sida, ainsi qu'aux questions de coût et de gestion de la qualité.

Publications hors série, ISBN : 978-92-0-115013-4 ; 62,00 euros ; 2017 (en anglais)  
<http://www-pub.iaea.org/books/IAEABooks/10627/Cancer>



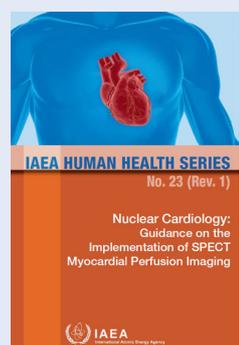
## Exigences de précision et incertitudes en radiothérapie

La publication intitulée *Accuracy Requirements and Uncertainties in Radiotherapy* est consacrée à des questions de précision et d'incertitudes qui se posent dans la grande majorité des services de radiothérapie, notamment ceux qui proposent à la fois des services de radiothérapie externe et de curiethérapie.

Elle porte sur des aspects cliniques, radiobiologiques, dosimétriques, techniques et physiques.

N° 31 de la collection Santé humaine de l'AIEA, ISBN : 978-92-0-100815-2 ; 76,00 euros ; 2016 (en anglais)

<http://www-pub.iaea.org/books/IAEABooks/10668/Accuracy>



## Cardiologie nucléaire : orientations sur la mise en œuvre de l'imagerie de perfusion myocardique par SPECT

La publication intitulée *Nuclear Cardiology: Guidance on the Implementation of SPECT Myocardial Perfusion Imaging* offre une analyse détaillée de toutes les étapes nécessaires à la fourniture de services de cardiologie nucléaire, de l'examen à l'établissement du rapport. Elle vise à fournir des orientations concernant la mise en œuvre, l'homogénéisation et l'amélioration de la pratique de l'imagerie de perfusion myocardique dans les États Membres où cette technique est actuellement développée.

N° 23 (Rev. 1) de la collection Santé humaine de l'AIEA, ISBN : 978-92-0-107616-8 ; 46,00 euros ; 2016 (en anglais)

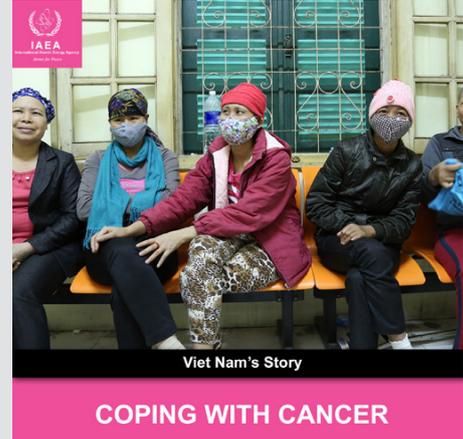
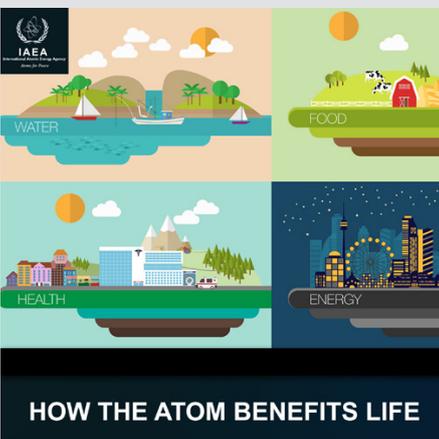
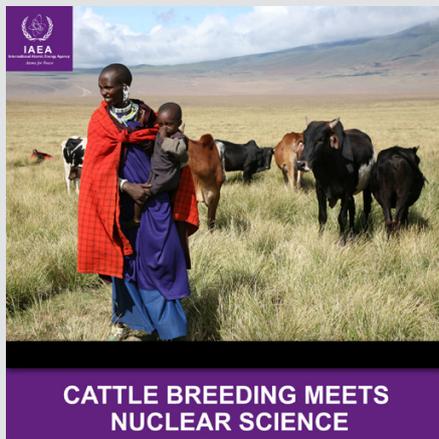
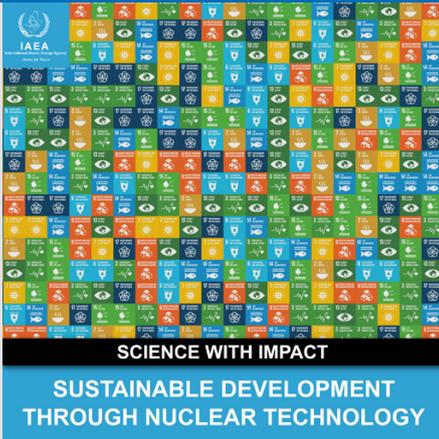
<http://www-pub.iaea.org/books/IAEABooks/11076/Cardiology>

*L'AIEA est l'un des principaux éditeurs de publications ayant trait au domaine nucléaire. Parmi les plus de 9 000 publications scientifiques et techniques qu'elle fait paraître figurent des normes internationales de sûreté, des guides techniques, des comptes rendus de conférences et des rapports scientifiques. Ces publications couvrent l'ensemble des travaux de l'AIEA et traitent plus particulièrement de domaines tels que l'électronucléaire, la radiothérapie, la sûreté et la sécurité nucléaires ou le droit nucléaire.*

**Pour obtenir de plus amples informations ou commander une publication, veuillez écrire à l'adresse suivante :**

Unité de la promotion et de la vente, Agence internationale de l'énergie atomique  
 Centre international de Vienne, B.P. 100, 1400 Vienne (Autriche)  
 Mél : [sales.publications@iaea.org](mailto:sales.publications@iaea.org).

# FILMS DE L'AIEA



Pour visionner les films de l'AIEA : [www.youtube.com/iaeavideo](http://www.youtube.com/iaeavideo)

# Quatrième Conférence internationale sur la gestion de la durée de vie des centrales nucléaires

23-27 octobre 2017  
Lyon (France)



Organisée par



60 ans

IAEA

*L'atome pour la paix et le développement*

en coopération avec :



le Centre commun de recherche (CCR)  
de la Commission européenne

**EPRI** | ELECTRIC POWER  
RESEARCH INSTITUTE

et l'Institut de recherche sur  
l'énergie électrique (EPRI)

Accueillie par le Gouvernement français, par l'intermédiaire :



d'Électricité de France (EDF)



et de l'Association des centrales  
de deuxième et troisième générations  
(NUGENIA)



CN-246