

IAEA BULLETIN

AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE

La publication phare de l'AIEA | Mars 2017

Version numérique :
www.iaea.org/bulletin



Technologie des rayonnements dans les coulisses de la révolution industrielle

La Chine ouvre sa première usine de traitement des eaux usées utilisant la technologie des rayonnements p. 8

Des chercheurs canadiens mettent au point des matériaux d'emballage alimentaire plus écologiques à partir de nanofibres irradiées p. 10

Le nucléaire au service de la culture au Brésil p. 16



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

Directeur de la rédaction : Miklos Gaspar

Rédactrice en chef : Nicole Jawerth

Conception et production : Ritu Kenn

Le Bulletin de l'IAEA est disponible
à l'adresse suivante :

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 : 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'AIEA est le seul organisme des Nations Unies à être spécialisé dans les technologies nucléaires. Ses laboratoires spécialisés sans pareils 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'AIEA 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'AIEA 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'AIEA 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'AIEA 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'AIEA 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).

Utilisation de la technologie des rayonnements pour un avenir plus prospère et plus durable

Par Yukiya Amano, Directeur général de l'AIEA

La science et la technologie nucléaires peuvent contribuer dans une large mesure au développement industriel et à la croissance économique. Elles permettent notamment d'améliorer les matériaux, de renforcer l'efficacité de processus industriels et de rendre l'environnement plus propre, contribuant ainsi à la réalisation de plusieurs objectifs de développement durable des Nations Unies, notamment l'objectif 9, qui est de promouvoir l'industrie, l'innovation et l'infrastructure. L'AIEA aide ses 168 États Membres à renforcer leur capacité à utiliser la science et la technologie des rayonnements pour améliorer la qualité de vie de leur population.

La technologie des rayonnements a permis de mettre au point des outils polyvalents qui contribuent dans une large mesure au développement durable. Ceux-ci sont souvent plus efficaces et plus respectueux de l'environnement que les méthodes classiques, et consomment moins d'énergie tout en générant moins de déchets. Ces aspects sont importants pour tous les pays, en particulier ceux dont les ressources sont limitées.

Cette édition du Bulletin de l'AIEA présente plusieurs exemples d'utilisation efficace de la science et de la technologie des rayonnements dans le monde. Vous y découvrirez comment la Chine, l'un des principaux producteurs de textiles dans le monde, utilise la technologie des rayonnements pour traiter les eaux usées des teintureries afin qu'elles puissent être réutilisées de manière plus sûre (lire en page 8) et comment, au Brésil, cette technologie est utilisée pour lutter contre les insectes ravageurs invasifs afin de protéger le patrimoine culturel (lire en page 16).

Des entreprises du monde entier utilisent des techniques nucléaires pour contrôler la qualité de produits, de procédés et de structures afin d'accroître la production et de renforcer la sûreté. Au Chili, ces techniques permettent au secteur

minier de rester compétitif (lire en page 14). Au Maroc, des spécialistes utilisent les rayonnements pour détecter et corriger des défauts et des irrégularités dans des produits et des processus de production (lire en page 12), tandis qu'au Myanmar, on utilise des techniques nucléaires pour accroître l'efficacité des secteurs pétrolier et gazier, des chantiers navals, des chemins de fer et même des parcs d'attraction (lire en page 6).

De nombreux scientifiques et experts collaborent dans le cadre d'activités de recherche coordonnées et de réunions scientifiques de l'AIEA afin de continuer à améliorer la technologie des rayonnements et d'accroître son utilisation. Les travaux scientifiques ainsi menés ont permis d'apporter des solutions innovantes à de grands défis planétaires. Nous pouvons citer comme exemple la mise au point de nouveaux matériaux d'emballage biodégradables et « actifs » pour lutter contre la pollution par le plastique (lire en page 10). Les centres collaborateurs de l'AIEA contribuent de manière essentielle à ce que ces innovations scientifiques trouvent des applications en dehors des laboratoires, dans l'industrie et dans la vie quotidienne (lire en page 20). Grâce aux travaux de l'AIEA, de nombreux scientifiques ont acquis l'expérience nécessaire pour devenir des experts et pouvoir donner des conseils à d'autres pays sur la façon d'utiliser la technologie des rayonnements (lire en page 18).

La science et la technologie sont essentielles au développement. Pour que les pays puissent tirer pleinement parti des avantages potentiels de la technologie nucléaire, il est essentiel qu'un cadre solide régissant la sûreté et la sécurité radiologiques soit mis en place. L'AIEA est déterminée à aider les pays à former et à qualifier des professionnels et à mettre en place les systèmes de sûreté et de sécurité nécessaires pour que ces technologies innovantes continuent d'être utilisées dans l'intérêt de l'humanité.



« La technologie des rayonnements a permis de mettre au point des outils polyvalents qui contribuent dans une large mesure au développement durable. »

— Yukiya Amano,
Directeur général de l'AIEA



(Photo : R. Murphy/AIEA)



(Photo : C. Brady/AIEA)



(Photo : C. Brady/AIEA)

Avant-propos



1 Utilisation de la technologie des rayonnements pour un avenir plus prospère et plus durable

Science et technologie des rayonnements



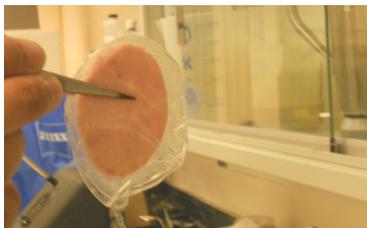
4 Les applications de la science et de la technologie des rayonnements



6 Myanmar : utilisation de techniques nucléaires pour améliorer les processus industriels



8 La Chine ouvre sa première usine de traitement des eaux usées utilisant la technologie des rayonnements



10 Des chercheurs canadiens mettent au point des matériaux d'emballage alimentaire plus écologiques à partir de nanofibres irradiées



12 Une qualité améliorée et des coûts réduits : le Maroc renforce son secteur industriel grâce à la technologie des rayonnements



14 Le Chili reste en tête dans la course aux minerais rares grâce à la technologie des rayonnements



16 Le nucléaire au service de la culture au Brésil



18 Des matériaux plus sûrs et moins polluants grâce au traitement nucléaire

Interview

20 Donner un nouvel élan à la science des rayonnements grâce à la collaboration

La voix de l'AIEA

22 La technologie des rayonnements au service du développement : comment l'AIEA apporte son aide

— Par Meera Venkatesh

Infos AIEA

24 Synthèses de l'AIEA : une nouvelle publication à l'intention des décideurs

24 Une nouvelle méthode permet de faire avancer la recherche dans la lutte contre les moustiques grâce aux techniques nucléaires

25 Arménie : les travaux de recherches effectués en physique pendant des années sauvés par la numérisation

26 Une technologie alternative pour accroître la production de ⁹⁹Mo

27 Publications de l'AIEA

Les applications de la science et de la technologie des rayonnements

Par Nicole Jawerth



La technologie des rayonnements permet de rendre les fils et les câbles plus solides et plus résistants aux produits chimiques agressifs, ainsi qu'à des températures extrêmes, comme celle du feu.

(Photo : L. Potterton/AIEA)

Les smartphones, les pneus de voiture et les bandages comptent parmi les nombreux produits de la vie courante que la technologie des rayonnements permet de rendre plus sûrs, plus fiables ou plus efficaces. Cette technologie est également utilisée pour effectuer des contrôles de la sûreté, réduire la pollution de l'eau et de l'air, et même améliorer la production et la conservation d'aliments, par exemple. Grâce aux progrès réalisés dans la recherche et la science des rayonnements, l'utilisation de cette technologie continue d'avoir, à l'échelle mondiale, une incidence croissante sur la vie quotidienne et le développement durable.

« En Inde, les agriculteurs récoltent d'importantes quantités de légumes grâce aux engrais fabriqués à partir de boues d'épuration irradiées. Au Brésil, des milliers de magnifiques œuvres d'art et vestiges culturels ont été sauvés des insectes et des moisissures grâce aux rayonnements », déclare João Osso, Chef de la Section des radio-isotopes et de la technologie des rayonnements de l'AIEA. D'après lui, les avantages que peuvent offrir les rayonnements sont énormes.

Depuis des décennies, des scientifiques étudient les rayonnements (voir l'encadré « En savoir plus ») et leurs effets chimiques. Leurs travaux ont permis de mettre au point un éventail d'outils et de méthodes qui mettent à profit ces effets et les exploitent dans divers domaines, de l'agriculture et l'industrie à la protection de l'environnement, en passant par la sûreté et la sécurité. Les techniques faisant appel aux rayonnements sont souvent plus rapides, plus efficaces et plus respectueuses de l'environnement que nombre de méthodes classiques.

Les essais non destructifs (END), par exemple, sont une méthode de contrôle de la qualité utilisée dans l'industrie pour détecter les fuites, les fissures et d'autres irrégularités structurelles dans des produits, des bâtiments et des machines. Cette technique consiste à envoyer des rayonnements, comme des rayons X, dans des matériaux, où ils peuvent être détectés à l'aide de dispositifs spéciaux, qui génèrent des images de ce qui se passe à l'intérieur du matériau. Pour en savoir plus, consultez les pages 6 et 12.

Les radiotraceurs appartiennent à un autre type d'outils souvent utilisés pour accroître la productivité dans divers secteurs, tels que le traitement de minerais et l'extraction de métaux. Des spécialistes injectent des radio-isotopes donnés dans un fluide ou un mélange contenant une certaine substance, et ceux-ci s'accrochent aux molécules de la substance. À l'aide de scanners spéciaux, ils peuvent alors suivre les radio-isotopes afin de prendre des mesures pour connaître différentes caractéristiques de la substance et comprendre la manière dont elle se déplace dans un système. Pour en savoir plus, consultez la page 14.

Mise au point de nouveaux matériaux pour un avenir plus durable

La recherche en science des rayonnements a abouti à de nouvelles façons de restructurer et de lier les molécules permettant de mettre au point de nouveaux matériaux, dont la plupart sont plus durables, plus efficaces et plus écologiques. Ces nouveaux matériaux sont fabriqués à partir de polymères et de composés organiques irradiés, comme des protéines du lait, des déchets végétaux ou de la cellulose d'origine naturelle provenant notamment d'arbres et de carapaces de crustacés. Dans certains cas, on associe ces composés à des



La technologie des rayonnements peut servir à examiner un processus ou des composants internes d'un appareil sans interrompre la production.

(Photo : A. Rachad/CNESTEN)

fibres provenant d'autres sources naturelles, comme le bois, pour prolonger la durée de vie des matériaux. On a ainsi pu, par exemple, créer de nouveaux matériaux de construction, renforcer l'efficacité des gels cicatrisants et mettre au point des matériaux d'emballage alimentaire écologiques. Pour en savoir plus, consultez les pages 10 et 18.

En utilisant la même technologie des rayonnements mais à des niveaux d'énergie différents, les scientifiques peuvent modifier la façon dont les cellules et les molécules se comportent et ainsi traiter des contaminants ou lutter contre des infestations. Utilisés à certaines doses, les rayonnements peuvent modifier des composants clés de cellules pour empêcher celles-ci de se

reproduire, ou casser des molécules pour qu'elles soient plus faciles à traiter. Pour en savoir plus, consultez les pages 8 et 16.

« Les technologies des rayonnements peuvent nous aider à relever les nouveaux défis liés à l'environnement et à assurer un avenir durable, en particulier dans les pays à revenu faible et intermédiaire », déclare M. Osso. « À mesure que ces outils se développent et évoluent, de nouvelles applications verront le jour », ajoute-t-il.

EN SAVOIR PLUS

Qu'est-ce qu'un rayonnement ?

Un rayonnement est une forme d'énergie, comme la chaleur et la lumière produites par le soleil. Il existe deux types de rayonnements : les rayonnements ionisants et les rayonnements non ionisants. C'est généralement aux premiers que l'on fait référence lorsque l'on parle de « rayonnements ».

Les rayonnements ionisants sont émis par des atomes instables, c'est-à-dire radioactifs, lorsqu'ils sont en train de devenir stables. Ils peuvent également résulter de l'accélération de particules par un champ électromagnétique. Il existe plusieurs types de rayonnements ionisants : les rayonnements alpha, bêta et gamma, le rayonnement émis par une particule accélérée et les ondes (électrons, protons et rayons X). Des particules subatomiques, comme les neutrons et les ions chargés, sont utilisées dans certaines applications des rayonnements.

À l'aide de rayonnements ionisants et d'outils spéciaux, les scientifiques peuvent déterminer différentes caractéristiques d'une substance ou, s'ils utilisent ces rayonnements à des doses suffisamment élevées, modifier cette substance. On peut, par exemple, avec une caméra spéciale, détecter des rayonnements traversant un objet pour obtenir une image de ce qui se passe à l'intérieur de cet objet.

Myanmar : utilisation de techniques nucléaires pour améliorer les processus industriels

Par Miklos Gaspar



Une chercheuse du Département de l'énergie atomique du Myanmar teste du matériel devant servir à effectuer des essais non destructifs dans la raffinerie de pétrole du pays.

(Photo : M. Gaspar/AIEA)

Au Myanmar, des experts introduisent la technologie nucléaire dans les essais industriels, compte tenu du succès de l'utilisation de techniques nucléaires dans les secteurs du pétrole et du gaz.

Dans les essais non destructifs (END) faisant appel à des techniques nucléaires, on utilise des rayonnements ionisants pour évaluer la qualité de matériaux et de produits (voir l'encadré « En savoir plus »). La technique utilisée au Myanmar est la tomographie d'émission gamma, qui repose sur l'absorption différentielle des rayons gamma émis par une source radioactive dans des matériaux différents. Depuis 2013, l'AIEA aide le Département de l'énergie atomique du Myanmar à acheter le matériel nécessaire et à former son personnel à l'utilisation de cette technique. Les experts de ce département effectuent régulièrement des END dans la raffinerie de pétrole de Thanlyin, située près de Yangon, pour inspecter la qualité des tuyaux et des produits qui y circulent.

« La science et la technologie nucléaires contribuent dans une large mesure à moderniser les processus industriels et à en renforcer l'efficacité », explique Meera Venkatesh, directrice de la Division des sciences physiques et chimiques de l'AIEA. D'après elle, l'exemple du Myanmar montre bien que les pays à faible revenu peuvent, eux aussi, tirer parti de cette technologie.

« Les oléoducs, les chaudières, les cuves sous pression, les bâtiments, les équipements aéronautiques et les navires figurent parmi les nombreux produits dont, partout dans le monde, on évalue la qualité à l'aide de la tomographie d'émission gamma, et le Département de l'énergie atomique du Myanmar prend des mesures pour étendre l'utilisation de cette technique », indique Ingyin Phyu, scientifique responsable du laboratoire des END de ce département. « Les essais non destructifs, notamment ceux faisant appel à des techniques nucléaires, sont essentiels aux contrôles de la qualité dans divers domaines industriels au Myanmar », ajoute-t-elle.

Le personnel technique de Myanmar Railways, de Myanmar Shipyards, de la Yangon Technological University et d'entreprises privées a récemment reçu une formation à l'utilisation de la technique, qui est déjà employée dans un large éventail d'activités, notamment sur des chantiers de construction et des chantiers navals, sur des locomotives et dans le plus grand parc d'attraction du pays.

« Les END apportent des améliorations considérables dans les secteurs de la construction et de la réparation navales », affirme U Myint Zaw, directeur général adjoint et inspecteur principal des END chez Myanmar Shipyards. « Cette méthode est essentielle pour améliorer nos processus et nos produits industriels, et nous l'utilisons beaucoup pour le contrôle de la qualité », ajoute-t-il.



La source radioactive de cet appareil d'END (à gauche) émet un rayonnement. Les particules radioactives réagissent au contact de la substance dans le tuyau bleu clair (au milieu). Le détecteur, situé de l'autre côté du tuyau, effectue une mesure du rayonnement, qui donne des informations sur la qualité et la quantité de matériau circulant dans le tuyau.

(Photo : M. Gaspar/AIEA)

En 2017, l'AIEA a élaboré un nouveau projet visant à promouvoir l'utilisation des END pour appuyer la préparation et le relèvement des structures de génie civil en cas de catastrophes naturelles dans des pays d'Asie et du Pacifique. Ce projet s'appuie sur les enseignements tirés du tremblement

de terre dévastateur survenu au Népal en avril 2015, à la suite duquel des END ont été effectués pour tester l'intégrité de bâtiments importants, comme des hôpitaux, des écoles et des sites historiques.

EN SAVOIR PLUS

Essais non destructifs

Lors d'essais industriels faisant appel à la technologie nucléaire, des rayonnements ionisants peuvent être utilisés pour tester la qualité de matériaux sans les endommager ni laisser de résidus radioactifs. C'est la technique des essais non destructifs (END).

Les méthodes d'END comprennent la radiographie, qui est un type de technologie des rayonnements, et la tomographie gamma, qui repose sur l'absorption différentielle des rayons gamma émis par une source radioactive dans des matériaux différents. En mesurant les rayons qui traversent un matériau donné sans être absorbés, on peut déterminer la composition et la structure de celui-ci. Ces techniques permettent de déceler des défauts structurels qui ne peuvent pas être détectés avec les méthodes d'essai classiques.

La radiographie industrielle est utilisée pour inspecter, par exemple, le béton et une grande variété de soudures, comme celles de gazoducs, de conduites d'eau, de réservoirs et d'éléments structurels. Elle permet de repérer des fissures ou des défauts que l'on pourrait ne pas déceler autrement.

Les autres méthodes d'END couramment utilisées sont notamment les suivantes :

- la radiographie ultrasonore, qui fait appel à des vibrations mécaniques semblables aux ondes sonores ;
- le contrôle par ressuage, qui permet de localiser des fissures à la surface de matériaux non poreux ;
- la magnétoscopie, qui permet de détecter des irrégularités présentes à la surface et légèrement sous la surface de matériaux ferromagnétiques ; et
- l'examen par courants de Foucault, qui utilise l'induction électromagnétique pour repérer des défauts dans des matériaux conducteurs.

La Chine ouvre sa première usine de traitement des eaux usées utilisant la technologie des rayonnements

Par Miklos Gaspar



Comparaison d'un échantillon d'eaux usées traité grâce à la technologie des faisceaux d'électrons et d'un échantillon traité selon une autre méthode avec un échantillon non traité.

(Photo : Institut de technologie de l'énergie nucléaire et des énergies nouvelles, Université de Tsinghua)

La Chine a mis en service sa première installation de traitement des eaux usées industrielles utilisant la technologie des faisceaux d'électrons, ce qui marque le début d'une nouvelle ère pour ce pays, premier producteur mondial de textiles.

Un cinquième du volume des eaux usées industrielles polluées rejetées dans le monde sont issues des activités de teinture de textiles. Plusieurs pays industrialisés ont recours à la technologie des rayonnements pour traiter une partie des effluents provenant d'usines de teinturerie, mais, du fait de la récente délocalisation de nombreuses industries du secteur vers des pays asiatiques en développement, une grande quantité des effluents pollués n'est pas traitée.

« Même si les technologies classiques de traitement des eaux usées ont été améliorées au cours des dernières années, la technologie des rayonnements reste la seule permettant d'éliminer les colorants les plus tenaces », explique Sunil Sabharwal, spécialiste du radiotraitement à l'AIEA. « Le problème est que ce sont les pays développés qui disposent de cette technologie, alors que c'est dans les pays en développement qu'elle serait le plus utile », ajoute-t-il.

Afin d'apporter aux pays en développement les connaissances dont ils ont besoin, l'AIEA a lancé un projet de recherche coordonnée sur la technologie des rayonnements, notamment sur son transfert vers différents pays, dont la plupart sont situés en Asie. « Des chercheurs chinois ont bénéficié de conseils

d'experts de Hongrie, de République de Corée et de Pologne relatifs à l'adoption de la technologie des rayonnements et à la construction de l'usine de traitement des eaux usées », indique Jianlong Wang, directeur adjoint de l'Institut de technologie de l'énergie nucléaire et des énergies nouvelles de l'Université de Tsinghua, à Beijing, et chercheur dirigeant le projet.

La nouvelle usine, située dans la ville de Jinhua, à 300 kilomètres au sud de Shanghai, utilisera la technologie des rayonnements pour traiter quotidiennement 1 500 mètres cubes d'eaux usées (voir l'encadré « En savoir plus »), soit environ un sixième du volume d'eau total traité par l'usine. « Si tout se déroule comme prévu, nous pourrions généraliser l'utilisation de cette technologie dans l'usine, puis l'introduire dans d'autres usines du pays », explique Jianlong Wang.

Les chercheurs chinois ont choisi d'utiliser la technologie des rayonnements reposant sur des faisceaux d'électrons après avoir mené des études de faisabilité approfondies sur les effluents de l'usine et comparé la technologie des faisceaux d'électrons avec d'autres méthodes. « La technologie des faisceaux d'électrons s'est nettement distinguée comme étant la solution la plus écologique et la plus efficace », explique Jianlong Wang.

« D'autres pays possédant une industrie textile développée, comme le Bangladesh, l'Inde et Sri Lanka, envisagent eux aussi d'utiliser cette technologie, avec l'aide de l'AIEA », confie Sunil Sabharwal. « Des villes indiennes recourent déjà



La technologie des faisceaux d'électrons est utilisée pour traiter les eaux usées industrielles d'une usine de teinturerie textile de la ville de Jinhua.

(Photo : Institut de technologie de l'énergie nucléaire et des énergies nouvelles, Université de Tsinghua)

à l'irradiation gamma pour traiter les boues d'épuration », précise-t-il.

Des chercheurs chinois envisagent également d'utiliser la technologie des faisceaux d'électrons pour traiter les résidus provenant d'usines pharmaceutiques fabriquant des antibiotiques. Ces résidus sont actuellement traités comme des déchets dangereux, car ils contiennent des antibiotiques et des gènes de résistance aux antibiotiques qui

ne peuvent être éliminés au moyen des techniques classiques comme le compostage ou l'oxydation. Or, d'après Jianlong Wang, des études ont montré que la technologie des faisceaux d'électrons permettait de décomposer de manière efficace les antibiotiques et les gènes de résistance aux antibiotiques résiduels. Une centrale de démonstration à l'échelle industrielle devrait être mise en service fin 2017.

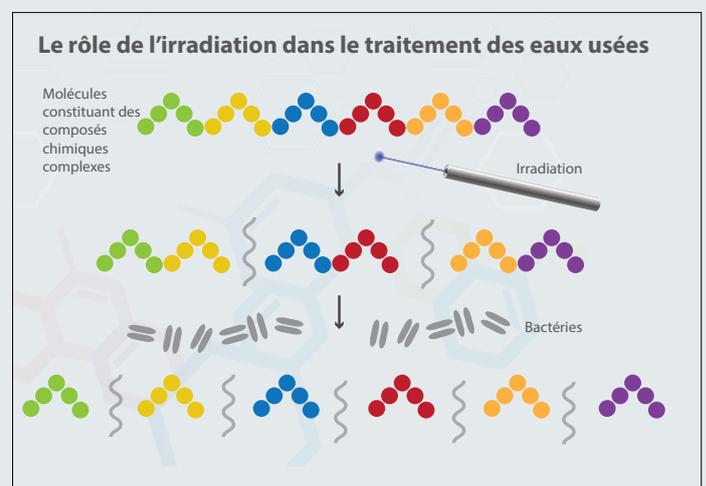
EN SAVOIR PLUS

Des composés trop longs pour les bactéries

Les bactéries, qui digèrent et décomposent les polluants, sont essentielles au traitement des eaux usées.

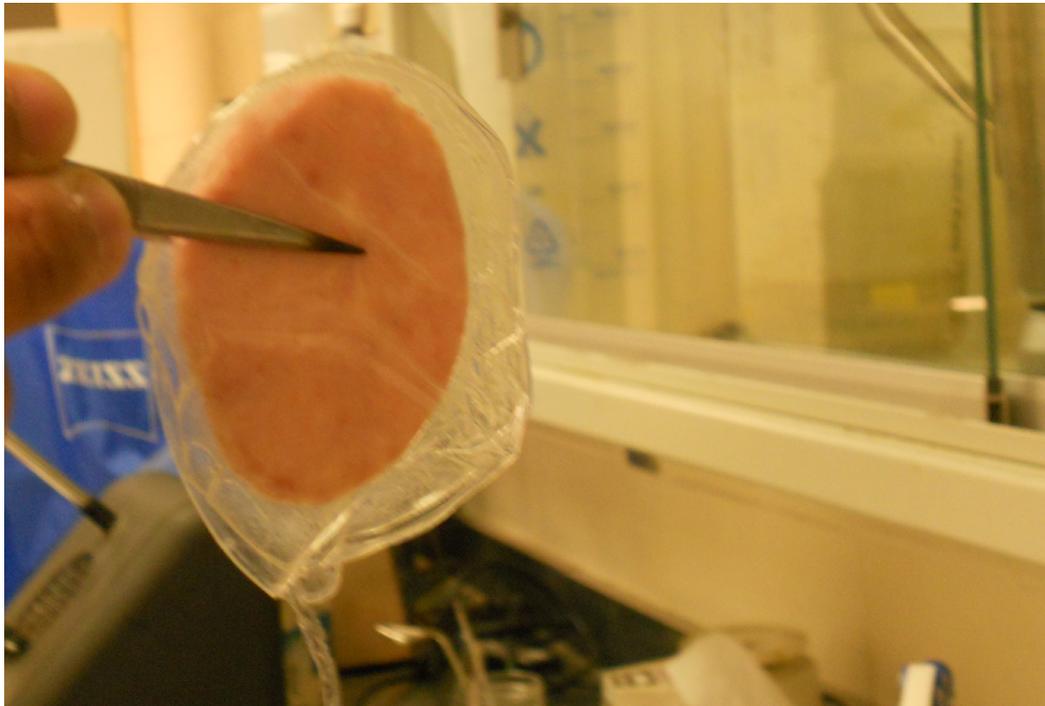
Cependant, elles ne sont pas capables d'éliminer certaines molécules contenues dans les eaux usées provenant des usines de teinturerie. Les composés présents dans les teintures sont constitués de chaînes de molécules longues, larges et complexes. Les eaux usées industrielles peuvent contenir plus de soixante-dix produits chimiques complexes difficiles à dégrader.

Les scientifiques peuvent scinder ces composés chimiques complexes en des molécules plus petites en irradiant les effluents à l'aide de faisceaux d'électrons. Les molécules peuvent ensuite être traitées et éliminées grâce à des processus biologiques courants, comme la dégradation bactérienne. L'irradiation est effectuée à l'aide de radicaux réactifs de courte période capables d'interagir avec de nombreux polluants et de les décomposer.



Des chercheurs canadiens mettent au point des matériaux d'emballage alimentaire plus écologiques à partir de nanofibres irradiées

Par Aabha Dixit



Emballage « actif » de produits carnés prêts à la consommation fabriqué à partir de chitosane et contenant de la nanocellulose et un agent antimicrobien.

[Photo : A. Khan/CIC]

Dans le monde entier, des déchets d'emballages alimentaires polluent des espaces publics et envahissent des décharges déjà surchargées. Conscients du danger que représente ce type de déchets pour l'environnement et des difficultés que pose leur recyclage, des chercheurs canadiens s'appuient sur la technologie des rayonnements pour mettre au point des emballages alimentaires écologiques et biodégradables.

« Les activités de recherche visant à concevoir des matériaux d'emballage biodégradables ou “actifs” sur le plan écologique s'accroissent », indique Monique Lacroix, directrice du Laboratoire de recherche en sciences appliquées à l'alimentation (RESALA) et chercheuse au Centre d'irradiation du Canada (CIC). « Les emballages fabriqués à partir de polymères naturels peuvent constituer une option de remplacement des emballages alimentaires non biodégradables et contribuer ainsi à réduire une source considérable de pollution environnementale », ajoute-t-elle.

Depuis plus de quinze ans, des scientifiques du RESALA et du CIC s'appuient sur les connaissances qu'ils ont acquises lors de formations dispensées par l'AIEA pour mettre au point des matériaux d'emballage « actifs » et biodégradables. Pour ce faire, ils mélangent des matières non transformées renouvelables, comme de l'amidon ou des protéines, à de la nanocellulose, polymère naturel qui contient des fibres de cellulose nanométriques. Le mélange est ensuite irradié (voir

l'encadré « En savoir plus »). On obtient ainsi des matériaux plus durables, plus biodégradables et plus étanches que les matériaux classiques.

« Ces polymères n'étant pas très solides, il faut les renforcer en ajoutant de la nanocellulose puis en les irradiant. Ainsi, les aliments emballés sont mieux protégés », explique Monique Lacroix. « Nous ajoutons ensuite certaines matières bioactives, comme des huiles essentielles de thym. L'emballage devient alors “actifs”, car les éléments introduits contribuent dans une large mesure à allonger la durée de conservation des aliments, en vue d'assurer leur sécurité sanitaire », précise-t-elle.

Un recours croissant au plastique

La production de plastique a fortement augmenté au cours des cinquante dernières années. D'après un rapport du Forum économique mondial 2016 consacré à la nouvelle économie du plastique, elle est passée de 15 millions de tonnes en 1964 à 311 millions de tonnes en 2014 et les emballages représentent environ 26 % du volume total des matières plastiques utilisées dans le monde. Ce rapport indique que la production de plastique devrait doubler au cours des vingt prochaines années, de manière à satisfaire une demande croissante. Au Canada, par exemple, on utilise chaque année entre neuf et quinze milliards d'emballages en plastique.

La plupart des emballages sont fabriqués à partir de carton ciré et plastifié ou de matériaux similaires, qui présentent les avantages d'être durables, solides, relativement peu coûteux et faciles à obtenir. Cependant, ils sont rarement biodégradables et, en raison de leur contamination par les aliments et les substances biologiques emballés, leur recyclage est généralement techniquement impossible et n'est souvent pas viable sur le plan économique.

Des activités de recherche au niveau mondial pour concevoir des matériaux plus écologiques

Le radiotraitement est une option intéressante pour l'industrie mondiale du conditionnement alimentaire. Nombre de chercheurs souhaitant renforcer leurs compétences et leurs connaissances dans ce domaine participent à des projets appuyés par l'AIEA. Ils ont ainsi l'occasion de collaborer avec des experts, par exemple des scientifiques du RESALA et du CIC, et d'apprendre à leurs côtés. Ainsi, en 2013, l'AIEA a lancé un projet qui a rassemblé des scientifiques venant des quatorze pays suivants : l'Algérie, le Bangladesh, le Brésil, le Canada, l'Égypte, les États-Unis, l'Italie, la Malaisie, les Philippines, la Pologne, la Roumanie, le Royaume-Uni, la Thaïlande et la Turquie. Ce projet permet aux scientifiques de mettre en commun leurs idées et de renforcer leurs compétences en vue de créer des matériaux d'emballage alimentaire innovants grâce à la technologie des rayonnements.

« Les activités de recherche menées au niveau mondial sont de plus en plus axées sur la mise au point de matériaux d'emballage écologiques. Cette tendance s'explique par les nouvelles réglementations mises en place par les pouvoirs publics, lesquelles font assumer aux industries la responsabilité des matières plastiques qu'elles utilisent et les obligent notamment à prendre en charge le coût de la gestion des déchets d'emballages en plastique », explique Monique Lacroix. Elle indique également que la fabrication de nouveaux matériaux à partir

de polymères naturels irradiés est une piste intéressante pour améliorer encore la sûreté des produits et contribuer à l'objectif environnemental de réduction des déchets d'emballages alimentaires.

On utilise des irradiateurs gamma à cobalt 60 pour traiter et stériliser les matériaux d'emballage.

[Photo : Nordion (Canada)]



EN SAVOIR PLUS

L'irradiation de polymères et de nanocomposés

Les scientifiques exposent des polymères naturels et des nanocomposés à des rayons gamma, à des rayons X ou à des faisceaux d'électrons afin de mettre au point des matériaux plus stables, plus biodégradables et plus faciles à sceller et à recycler. Parmi les polymères naturels utilisés, on trouve notamment certaines protéines (soja, zéine, caséine, etc.) et des polysaccharides (chitosane, extraits de pommes de terre ou d'algues, etc.). Ces composés sont mélangés à de la nanocellulose, polymère naturel organique provenant de matières végétales, comme le bois, constitué de fibrilles de cellulose nanométriques. La nanocellulose rend les matériaux plus solides.

Les scientifiques utilisent souvent des caséines (groupe de protéines du lait) pour mettre au point de nouveaux matériaux. Il existe quatre types de caséines. Les caséines d'un même groupe sont constituées de molécules différentes, mais possèdent des structures et une composition similaires. On dissout les caséines dans de l'eau avant de les soumettre à un rayonnement gamma. On laisse sécher la solution obtenue sur une surface. On obtient ainsi un film solide malléable pouvant être utilisé pour l'emballage. Ce film est plus solide que les matières plastiques habituellement utilisées et a une plus longue durée de vie. Lorsqu'il est renforcé par de la nanocellulose et irradié, il devient plus étanche et permet donc de protéger très efficacement les aliments des moisissures et des bactéries susceptibles de les contaminer.

Une qualité améliorée et des coûts réduits : le Maroc renforce son secteur industriel grâce à la technologie des rayonnements

Par May Fawaz-Huber



Dans une raffinerie marocaine, un spécialiste du CNESTEN effectue un balayage gamma dans une colonne de distillation à lit sous vide haute de 75 mètres.

(Photo : R. Alami/CNESTEN)

Au Maroc, les exploitants industriels ne vivent plus dans l'inquiétude de subir les conséquences financières d'éventuelles microfissures presque invisibles. Grâce à des technologies très sensibles et précises reposant sur les rayonnements, ils sont désormais en mesure de les repérer avant qu'elles n'entravent la production, ce qui permet d'améliorer la qualité de celle-ci et d'économiser plusieurs millions de dollars en maintenance et en réparation.

« Auparavant, les exploitants industriels étaient contraints de mettre à l'arrêt leurs installations pendant de très longues périodes à cause de pannes imprévues », explique Rachad Alami, directeur de la division des applications industrielles du Centre national de l'énergie, des sciences et des techniques nucléaires (CNESTEN). « Des coûts élevés de maintenance et de réparation pesaient sur la compétitivité. Nous utilisons maintenant des techniques nucléaires pour détecter d'éventuels problèmes et améliorer la qualité de la production », ajoute-t-il.

Des exploitants industriels marocains collaborent avec des spécialistes du CNESTEN formés par l'AIEA à la réalisation d'essais non destructifs (END) (voir l'encadré « En savoir plus » en page 7) dans le cadre d'inspections d'équipements industriels et de tests d'assurance de la qualité. Les END, utilisés dans plus de 98 % des contrôles techniques effectués dans des installations industrielles dans le monde, ont été mis en pratique dans différentes branches du secteur industriel du Maroc (pétrochimie, production et transformation de phosphates, métaux, transport, ciment, agro-alimentaire, entre autres).

« L'utilisation de la technologie des rayonnements dans l'industrie marocaine au cours des trois dernières décennies a permis de renforcer le secteur de manière considérable », déclare Rachad Alami. S'il est difficile d'obtenir des données chiffrées précises sur les économies que la technologie nucléaire a permis de réaliser, les exploitants industriels marocains s'accordent à dire que le ratio coûts-avantages de l'utilisation de techniques nucléaires est d'au moins 32/1. Cela signifie que chaque euro investi par les exploitants industriels dans des activités relatives aux END et à l'utilisation de radiotraceurs et d'autres applications de la technologie des rayonnements leur rapporte au moins 32 euros.

Rétablissement du bon fonctionnement d'une raffinerie pétrochimique grâce au balayage gamma

Les méthodes classiques ne sont généralement pas assez précises ni assez sensibles pour permettre de remonter à la source d'une défaillance technique. En 2015, les ingénieurs d'une raffinerie pétrochimique ont cherché à comprendre pourquoi la capacité d'une unité de production de furfural (solvant utilisé dans la fabrication de nombreux produits industriels) avait diminué de près de 90 %. Pour ce faire, ils ont employé des techniques classiques. N'étant pas parvenus à déterminer l'origine du problème, ils ont décidé de démanteler l'ensemble de l'unité, ce qui devait obliger à suspendre la production pendant plusieurs semaines.

Avant de procéder au démantèlement, les ingénieurs ont décidé d'effectuer un balayage gamma, technique reposant sur les rayonnements (voir l'encadré « En savoir plus ») pour mieux comprendre ce qui se passait à l'intérieur de l'unité et déterminer l'origine du dysfonctionnement. En quelques heures, ils ont repéré le problème, remplacé la partie de l'unité endommagée et rétabli la pleine capacité d'exploitation de l'unité.

« Le balayage gamma était la seule technique permettant de repérer le problème et de le localiser avec précision », indique Rachad Alami. Il souligne qu'il aurait été beaucoup plus cher de démanteler l'ensemble de l'unité au lieu d'utiliser la technique du balayage gamma, qui a coûté 5 000 euros.

Promouvoir la technologie des rayonnements au Maroc et en Afrique

Au Maroc, des spécialistes s'appuient sur l'expérience qu'ils ont acquise au cours de plusieurs décennies pour aider des pays africains à effectuer des END et à utiliser des sources radioactives scellées et des traceurs radioactifs.

« Depuis les années 1990, le Maroc joue un rôle moteur dans l'application de la technologie des rayonnements, grâce à l'engagement du CNESTEN et à l'appui de la France et de l'AIEA », indique Patrick Brisset, spécialiste de la technologie industrielle à l'AIEA.

L'Accord régional de coopération pour l'Afrique sur la recherche, le développement et la formation dans le domaine de la science et de la technologie nucléaires (AFRA), auquel l'AIEA apporte son appui, est un pilier de la collaboration régionale dans laquelle le Maroc est engagé. Il a contribué

à l'instauration d'une coopération directe entre le Maroc et d'autres pays, comme l'Angola, le Cameroun, l'Égypte, l'Éthiopie, le Ghana, le Sénégal, le Soudan, la Tanzanie, la Tunisie et le Zimbabwe. Un certain nombre de ces pays ont ainsi pu mettre en œuvre des techniques nucléaires et connexes dans leurs industries locales.

« Dans de nombreux pays africains, le processus d'industrialisation prend de l'ampleur. L'AIEA collabore avec le Maroc et d'autres pays en vue de promouvoir une utilisation de la technologie des rayonnements dans le secteur industriel à des fins pacifiques, l'objectif étant d'obtenir un effet immédiat sur l'économie de ces pays », explique Patrick Brisset.

L'AIEA continue d'encourager l'utilisation de ce type de technologies et d'appuyer la collaboration, notamment dans le cadre de son programme de coopération technique. Le Maroc participe à des projets industriels mettant en jeu la technologie des rayonnements, conjointement avec l'Égypte, le Kenya, la République démocratique du Congo, le Soudan et le Zimbabwe.

EN SAVOIR PLUS

Contrôle par radiographie et balayage gamma

Le **contrôle par radiographie** est la principale technique d'essai non destructif (END) disponible sur le marché et sert de méthode de référence pour toutes les techniques complémentaires (pour en savoir plus sur les END, consultez la page 7). Il repose principalement sur le rayonnement gamma émanant de sources radioactives ou le rayonnement X provenant de générateurs de rayons X. Pour des matériaux de faible densité ou de faible épaisseur, on utilise parfois le rayonnement bêta. Les spécialistes ont recours à un dispositif permettant de détecter un rayonnement traversant un matériau donné et d'en créer une image. Plus le matériau est dense ou épais, moins il laisse passer de rayons et plus l'image est claire. À partir de l'image obtenue, les spécialistes déterminent les caractéristiques du matériau.

Le **balayage gamma** est une technique permettant d'inspecter un processus ou l'intérieur de matériel sans qu'il soit nécessaire d'interrompre la production. Un faisceau collimaté de rayons pénétrants traverse la paroi de la cuve d'un réacteur. Il est modifié par les internes de la cuve avant de ressortir de l'autre côté de la paroi et d'atteindre un détecteur. La mesure de l'intensité du rayonnement transmis permet d'obtenir des informations utiles sur la densité des matériaux présents dans la cuve. Plus le matériau est dense ou épais, moins il laisse passer de rayons. Grâce à la technique simple et efficace du balayage gamma, les scientifiques peuvent procéder à un examen minutieux de matériaux pour repérer d'éventuelles fissures ou anomalies.

Le Chili reste en tête dans la course aux minerais rares grâce à la technologie des rayonnements

Par Jeremy Li



Mine de cuivre brut au Chili. Le pays est le premier producteur mondial de cuivre.

(Photo : F. Diaz/Trazado Nuclear e Ingenieria Ltda.)

La concurrence est rude dans la course mondiale aux minerais et aux métaux à haute teneur, où l'enjeu est de plusieurs milliards de dollars. Les ressources connues se raréfient tandis que la demande augmente, ces ressources étant utilisées dans la fabrication de toutes sortes d'objets de la vie courante, des téléphones portables aux poêles et casseroles. Dans certains pays, comme le Chili, la technologie des rayonnements est essentielle pour conserver une longueur d'avance sur la concurrence.

« La technologie des rayonnements offre un avantage considérable par rapport aux autres techniques », indique Francisco J. Diaz Vargas, haut responsable de Trazado Nuclear e Ingenieria, organisme chilien qui conseille des compagnies minières sur les procédés d'extraction de minerais et de métaux. « Elle contribue de manière essentielle au développement de l'industrie la plus importante du pays et au maintien de notre position solide en tant qu'exportateur mondial », ajoute-t-il.

Le Chili possédant d'importantes réserves de ressources minérales, l'industrie minière y est florissante : elle représente environ 9 % du produit intérieur brut (PIB) et près de la moitié des exportations. Le pays est le premier producteur mondial de cuivre, matière première exportée pour être utilisée dans des alliages et du matériel électrique, ainsi que dans la construction, entre autres. Les mines chiliennes sont aussi riches en molybdène, élément chimique qui joue un rôle crucial dans plus de 80 % des procédures de médecine nucléaire.

Pour que l'industrie du Chili reste florissante et contribue à satisfaire la demande croissante à l'exportation, les compagnies minières chiliennes travaillent, en collaboration avec l'AIEA, à la rationalisation de leur production et de leurs processus

d'extraction, ainsi qu'à la mise en place de moyens plus efficaces pour détecter des minerais et des métaux et en mesurer la concentration, à l'aide de traceurs radioactifs et de jauges nucléoniques (voir l'encadré « En savoir plus »). D'après Francisco J. Diaz Vargas, la technologie des rayonnements donne de meilleurs résultats que les techniques classiques en ce qui concerne la qualité des produits, l'optimisation des processus et l'économie d'énergie.

« Souvent, il n'est pas pratique d'utiliser les techniques des traceurs classiques, car le matériel nécessaire est trop encombrant pour être emmené sur le terrain. Les traceurs radioactifs sont plus faciles à transporter », explique-t-il. « Les techniques faisant appel aux radiotraceurs sont aussi plus précises et plus rapides que les techniques classiques, ce qui nous permet de faire des économies de temps et d'argent, car nous savons exactement quelles quantités de ressources minérales peuvent être extraites et traitées. »

« Dans un marché mondial de plus en plus concurrentiel, il est indispensable d'utiliser ces techniques innovantes si l'on veut conserver son avance et garantir une offre stable de métaux et de minerais », explique Patrick Brisset, spécialiste de la technologie industrielle à l'AIEA.

D'après les statistiques mondiales sur les minerais établies par le Service géologique britannique, plus de 2,7 milliards de tonnes de métaux et de minerais sont extraites des réserves naturelles souterraines et utilisées chaque année. Ces ressources minérales et ces métaux sont utilisés dans la fabrication de nombreux produits, des pièces mécaniques et produits électroniques aux appareils ménagers et pièces automobiles. Pour ce qui est des ordinateurs, par exemple, il faut plus de 60 types de métaux

différents pour fabriquer le boîtier, les circuits imprimés et les puces.

Avec l'accroissement de la population mondiale et l'amélioration globale des conditions de vie, la demande de produits fabriqués à partir de ces matières premières augmente. Or, il est de plus en plus difficile d'y répondre, car trouver des ressources minérales pouvant être extraites facilement pose un véritable défi. De plus, la mise en place du processus d'extraction prend du temps : il faut compter 10 à 15 ans entre la découverte d'un gisement et le début de l'extraction.

« Il est de plus en plus difficile de répondre à la demande, car les sources mondiales de minerais et de métaux à haute teneur s'épuisent et sont de plus en plus difficiles à repérer. Les pays doivent trouver les moyens de s'adapter », indique Patrick Brisset.

Avec l'appui de l'AIEA, des spécialistes du monde entier acquièrent des connaissances et des compétences relatives à l'application des techniques nucléaires dans l'industrie minière, la métallurgie et le traitement des minerais. Ils travaillent aussi

en collaboration étroite avec des spécialistes de pays comme le Chili, qui ont acquis une solide expertise grâce à des pratiques et à des infrastructures minières en place depuis des années.

« Le secteur se développe rapidement. Si nous développons les techniques des rayonnements et les utilisons à grande échelle, nous pourrions réaliser une économie annuelle mondiale de plus de 19 milliards de dollars, grâce à des processus d'extraction et de production plus efficaces et à un besoin moindre en ressources humaines », affirme Patrick Brisset.

EN SAVOIR PLUS

Les radiotraceurs et les jauges nucléoniques

Les **radiotraceurs** servent d'outils d'analyse permettant d'obtenir des données utiles pour l'étude et l'optimisation des différentes étapes de l'extraction et du traitement des minerais. Le principe est le suivant : des isotopes radioactifs sont injectés dans un mélange ou un liquide. Ils se fixent sur les molécules d'une substance cible (métaux ou minerais, par exemple) et se déplacent donc de la même manière que cette substance. On utilise ensuite des appareils spéciaux, comme des scintillateurs, pour détecter les rayonnements émis par les traceurs. On a aussi recours à des appareils utilisant des techniques d'imagerie, comme la tomographie d'émission monophotonique (SPECT) ou la tomographie à émission de positons (PET). Ces appareils produisent des images qui montrent la concentration de minerais et de métaux : plus la concentration d'une substance est élevée, plus on observe de radiotraceurs sur l'image. Cette méthode des radiotraceurs peut aussi être utilisée pour suivre en temps réel le mouvement souterrain de l'eau, du pétrole et de polluants, ou encore pour déterminer les schémas d'écoulement au sein d'un système.

Les systèmes de mesure et de contrôle nucléonique, plus connus sous le nom de « jauges nucléoniques », sont composés d'appareils de détection et de sources de rayonnements spéciaux. Ils émettent des rayons gamma ou des rayons X permettant de mesurer et de contrôler différents paramètres physiques d'un produit ou d'un équipement, comme son épaisseur, sa densité ou sa composition.

Une jauge nucléonique envoie des rayonnements qui traversent un matériau et atteignent un détecteur placé de l'autre côté. Le détecteur enregistre les variations de la quantité de rayonnements traversant le matériau à analyser. Si le matériau est épais, dense ou concentré, peu de rayonnements parviennent à le traverser, et inversement. Les variations ainsi enregistrées permettent de déterminer et de mesurer des caractéristiques présentant un intérêt. Dans bon nombre de cas, aucun contact direct avec les jauges n'est nécessaire, les mesures pouvant être effectuées à travers des murs ou des matériaux opaques. Les jauges nucléoniques, qui ne provoquent aucun dommage et ne laissent aucun résidu radioactif, jouent un rôle essentiel dans la production et la maintenance de matériaux et de structures.

Le nucléaire au service de la culture au Brésil

Par Laura Gil



Les scientifiques utilisent des techniques faisant appel aux rayonnements pour traiter des artefacts, comme ce livre ancien endommagé, et améliorer leur durabilité.

(Photo : Institut d'études brésiliennes – IEB/USP)

Si de prime abord il peut sembler saugrenu de réunir dans une même équipe des conservateurs du patrimoine et des spécialistes des sciences nucléaires, au Brésil, ils ont uni leurs forces pour mettre la technologie nucléaire au service de la préservation de plus de 20 000 objets du patrimoine culturel.

« Grâce à la rencontre de ces deux mondes, nous préservons notre patrimoine culturel et nous faisons des découvertes sur notre histoire de façon totalement inédite », déclare Pablo Vasquez, chercheur et directeur de l'installation polyvalente d'irradiation gamma de l'Institut de recherches énergétiques et nucléaires (IPEN), à São Paulo. « Ici, la technologie des rayonnements est devenue l'une des principales composantes du processus de conservation », ajoute-t-il.

Le groupe pluridisciplinaire de l'IPEN travaille en collaboration avec l'AIEA depuis plus de 15 ans sur l'application des techniques des rayonnements aux fins du traitement, de l'analyse et de la conservation d'objets du patrimoine culturel, qu'il s'agisse d'œuvres d'art, d'équipement militaire ancien ou de documents d'archives publiques. Parmi ces objets figurent des œuvres connues d'artistes comme Anatol Wladyslaw ou Vassily Kandinsky, mais aussi des tableaux de peintres modernes brésiliens, comme Tarsila do Amaral, Anita Malfatti, Di Cavalcanti, Clóvis Graciano, Candido Portinari ou encore Alfredo Volpi.

Des appareils médicaux au patrimoine culturel

L'équipe a donné une nouvelle fonction à l'installation d'irradiation de l'IPEN, qui servait jusqu'alors uniquement à stériliser des appareils médicaux, afin d'utiliser l'irradiation gamma pour désinfecter des objets historiques, les débarrasser

des moisissures et des insectes ravageurs et contribuer à améliorer leur durabilité.

« Cette technique permet de protéger les artefacts des effets du climat. Au Brésil, ce sont les conditions météorologiques, l'humidité et les catastrophes naturelles qui posent des problèmes. Il y a plus de termites et de champignons ici que dans d'autres pays, ce qui peut être dévastateur pour les livres, les tableaux, le bois, le mobilier, les sculptures et l'art moderne », explique Pablo Vasquez.

« Le traitement par irradiation gamma est bien moins agressif que les techniques de désinfection classiques », indique Sunil Sabharwal, spécialiste du radiotraitement à l'AIEA. « L'irradiation gamma est une meilleure solution car elle s'effectue à température ambiante, sans requérir de substances supplémentaires, contrairement aux méthodes classiques de décontamination, qui nécessitent souvent de la chaleur ou des produits chimiques pouvant altérer les matériaux, » poursuit-t-il.

Les artefacts livrent tous leurs secrets

Avant de traiter un artefact, l'équipe procède à son analyse. Elle a recours à différentes techniques nucléaires et classiques, telles que la radiographie, la fluorescence X et la diffraction des rayons X (voir l'encadré « En savoir plus »). L'analyse révèle certains détails, comme le type de pigments ou de métaux que l'artiste a utilisé, et aide l'équipe à choisir la méthode de conservation la plus appropriée pour chaque objet.

Les scientifiques ont utilisé ces techniques d'analyse pour étudier une toile précolombienne faisant partie des collections du palais du gouvernement de São Paulo. Ils ont effectué des mesures qui les ont aidés à déterminer le type de peinture

que l'artiste avait utilisé, mais aussi la manière dont la toile avait été restaurée antérieurement. Ils ont aussi découvert des esquisses sous la peinture originale.

Un pôle de connaissances

En raison de son expérience, qui se compte en dizaines d'années, l'équipe de l'IPEN est aujourd'hui sollicitée pour ses connaissances par bon nombre de spécialistes de la région, mais aussi du monde entier. En 2016, du personnel de l'IPEN a contribué au premier cours sur la conservation des artefacts s'adressant à des experts d'Amérique latine. Organisé par l'AIEA, ce cours, qui a porté sur les différentes applications des technologies des rayonnements aux fins de la conservation du patrimoine culturel, a réuni des conservateurs, des restaurateurs, des muséologues, des bibliothécaires et des radiologues de dix pays de la région.

L'assistance de l'IPEN est maintenant très demandée. Le personnel de cet institut travaille sur des objets provenant de différents

pays et forme régulièrement des scientifiques et des experts du domaine culturel venus de l'étranger.

Dans le cadre d'un projet intéressant en cours de préparation, trois momies vont être transportées à l'institut depuis l'Équateur pour y être traitées contre les champignons et les insectes. L'AIEA appuie ce projet en apportant son expertise et une formation.

« Je trouve formidable que des experts et des organisations internationales accordent de plus en plus d'importance à la préservation du patrimoine culturel, car celui-ci représente l'identité de notre peuple. Nous devons continuer à le protéger », confie Pablo Vasquez.



De nombreux objets du musée Afro Brasil de São Paulo (Brésil) ont été traités par irradiation gamma à l'Institut de recherches énergétiques et nucléaires (IPEN).

[Photo : L. Potterton (AIEA)]

EN SAVOIR PLUS

L'irradiation gamma et la diffraction des rayons X (DRX)

Les **rayonnements gamma**, ou rayons gamma, sont des rayonnements électromagnétiques d'une fréquence extrêmement élevée. Ils sont émis sous la forme de photons de haute énergie, particules élémentaires qui présentent des propriétés ondulatoires.

Le cobalt 60 est l'un des éléments chimiques communément utilisés comme source de rayonnements gamma.

Les rayons gamma sont un type de rayonnements ionisants. Aux doses employées dans la protection d'objets du patrimoine culturel, ils empêchent la reproduction des microbes à température ambiante et sans contact physique. Ces ondes électromagnétiques à haute fréquence et à haute énergie réagissent avec les constituants essentiels des cellules. Elles peuvent altérer l'ADN et empêcher ainsi la reproduction cellulaire.

On peut ainsi éliminer les insectes ravageurs et les moisissures.

L'irradiation gamma peut aussi être utilisée pour renforcer et consolider les résines appliquées par les spécialistes sur les artefacts en matériaux poreux pour les protéger et leur donner une seconde vie.

La **diffraction des rayons X** est une technique d'analyse des matériaux cristallins très sensible et non destructive. Les matériaux cristallins, comme le verre et le silicium, sont des solides constitués d'atomes organisés selon une structure microscopique hautement ordonnée. La diffraction des rayons X offre notamment l'avantage de pouvoir être utilisée dans des échantillons très petits de nombreux matériaux cristallins.

Les scientifiques exposent un matériau cristallin à des rayons X. Lorsque ceux-ci entrent en contact avec les cristaux formant le matériau, ils sont déviés et on obtient un spectre de diffraction. Ce spectre peut fournir des informations sur la structure du cristal ou la nature de la substance cristalline, ce qui permet aux scientifiques de caractériser et de déterminer de manière précise la structure cristalline d'un objet.

Mise au point de matériaux plus sûrs et moins polluants grâce à un processus nucléaire

Par Andrew Green



Ce pansement comporte une plaque d'hydrogel qui favorise la cicatrisation. Il se retire plus facilement et en faisant moins mal que les pansements classiques.

(Photo : S. Henriques/AIEA)

Filtres à eau, abat-jours, semelles de chaussures ou pansements médicaux, de plus en plus de produits de consommation sont aujourd'hui fabriqués à partir de matériaux produits grâce à des techniques nucléaires.

« Des progrès accomplis dans le traitement de certains polymères permettent d'améliorer la productivité et de réduire l'incidence sur l'environnement », indique Masao Tamada, expert renommé, directeur général de l'Institut Takasaki de recherche avancée sur les rayonnements de la Division de la recherche en sciences nucléaires de l'Agence japonaise de l'énergie atomique.

L'AIEA favorise la coopération dans cette région en aidant des spécialistes expérimentés, comme Masao Tamada, à former des professionnels d'autres pays à la mise au point de tels matériaux plastiques et gels spéciaux.

Lors du cours régional de l'AIEA qu'il a dirigé en Malaisie en août 2016, Masao Tamada a dispensé une formation sur des méthodes avancées de greffage par irradiation dans le cadre d'applications environnementales et industrielles à des participants venus du Bangladesh, de la Chine, de l'Inde, de l'Indonésie, de la Malaisie, du Myanmar, du Pakistan, des Philippines, de la République de Corée, de Sri Lanka, de la Thaïlande et du Viet Nam. Lors d'un précédent atelier organisé par l'AIEA, il a établi un protocole relatif aux méthodes

spécialisées de greffage par irradiation, qui est maintenant accessible en ligne.

De nouvelles applications médicales pour les polymères radiotraités

Des polymères, comme des matières plastiques ou des gels, peuvent être modifiés ou renforcés grâce à un traitement par rayonnement faisant appel à des rayons gamma, à des rayons X ou à des faisceaux d'électrons ou d'ions accélérés. Des liaisons nouvelles et plus résistantes s'établissent alors dans la structure des polymères (voir l'encadré « En savoir plus »). Cette technique permettant de renforcer et d'améliorer des polymères par irradiation est utilisée depuis des dizaines d'années dans la fabrication de produits commerciaux, comme des pièces de moteur résistant à la chaleur pour l'automobile, des gaines thermorétractables, des panneaux en mousse et des pneus.

Les progrès réalisés dans l'industrie du radiotraitement ont conduit à des applications nouvelles et innovantes des polymères irradiés, notamment l'utilisation de plaques d'hydrogel en médecine pour traiter les brûlures et les plaies, et en radiothérapie pour lutter contre le cancer.

« Les plaques d'hydrogel à teneur élevée en eau sont fabriquées par réticulation des matériaux à l'aide de rayonnements et permettent une cicatrisation plus rapide que les pansements

secs », explique Masao Tamada. « Seule la réticulation des polymères par irradiation permet d'obtenir des hydrogels à teneur élevée en eau qui sont élastiques », précise-t-il.

Ces gels transparents peuvent être utilisés en radiothérapie, plus exactement en dosimétrie, pour aider à mesurer et à maintenir des doses de rayonnements qui soient sûres et efficaces. Les plaques d'hydrogel permettent de connaître à la fois les niveaux de rayonnements et les zones exposées, qui peuvent varier d'un patient à un autre. Ces informations aident à préparer les séances de radiothérapie.

« Les pansements hydrogels font moins mal que la gaze médicale classique quand on les retire, et comme ils sont transparents, ils permettent un suivi continu de l'évolution de la cicatrisation », indique Masao Tamada.



Les pansements hydrogels produits par irradiation sont employés dans le traitement des brûlures et des plaies.

(Photo : S. Henriques/AIEA)

EN SAVOIR PLUS

La réticulation des polymères par irradiation

Les plastiques et les gels sont constitués de chaînes de polymères qui sont réticulées et stérilisées à l'aide de rayons gamma ou de faisceaux d'électrons. Les polymères sont mélangés avec de l'eau, placés dans des moules ou des tubes, emballés et scellés, puis réticulés et stérilisés par exposition à des rayonnements. Les techniques de réticulation des polymères par irradiation sont beaucoup plus sûres que les techniques chimiques. En effet, comme aucun produit chimique n'est utilisé, aucune impureté n'est apportée. Les rayonnements peuvent briser des liaisons chimiques et en établir de nouvelles, qui modifient les propriétés physiques, chimiques et biologiques d'un matériau, sans qu'aucun traitement chimique soit nécessaire et sans rendre le matériau radioactif. Cela permet de réorganiser des polymères au niveau moléculaire et de les réutiliser à des fins particulières.

Dans le cas des hydrogels, sous l'effet de la réticulation, les polymères se lient pour former un gel robuste, souple et transparent. Les hydrogels utilisés comme pansements contiennent 70 à 95 % d'eau et sont biocompatibles. Ils ne collent pas à la plaie ; ils la maintiennent humide pour favoriser la guérison, absorbent ses excréments et sont en outre faciles à stocker et à utiliser.



Cette compresse contient un gel constitué de polymères réticulés qui est biocompatible et a une teneur en eau comprise entre 70 et 95 %.

(Photo : S. Henriques/AIEA)

Donner un nouvel élan à la science des rayonnements grâce à la collaboration

Par Nicole Jawerth

Les diverses applications actuelles des rayonnements sont le fruit de travaux de recherche de scientifiques qui se sont appuyés sur ceux d'autres chercheurs et les ont complétés, la mutualisation des résultats ayant abouti à des applications pratiques novatrices qui améliorent notre quotidien. Aujourd'hui, les scientifiques collaborent notamment grâce aux centres collaborateurs de l'AIEA.

Pour vous donner un aperçu des activités menées au sein d'un centre collaborateur de l'AIEA dans les domaines de la science et de la technologie des rayonnements, Suresh Pillai, Directeur du Centre national de recherche basée sur la technologie des faisceaux d'électrons et professeur de microbiologie et de biologie moléculaire à l'Université A&M Texas, a répondu, pour le Bulletin de l'AIEA, à quelques questions sur le centre qu'il dirige et son statut de centre collaborateur de l'AIEA. Il a expliqué comment les travaux qui y sont effectués contribuent à l'utilisation de la technologie des faisceaux d'électrons dans les domaines alimentaire, sanitaire et environnemental, et comment le centre sert de plateforme à des chercheurs d'une dizaine de pays. Il a aussi abordé l'avenir et certains travaux de recherche innovants menés dans son institut.



Q : Votre institut a été désigné comme centre collaborateur de l'AIEA. Qu'est-ce que cela implique ?

R : Cela fait 15 ans que nous travaillons au développement et à la commercialisation de la technologie des faisceaux d'électrons. Notre institut est sans but lucratif et le coût annuel de nos services s'élève à environ un à deux millions de dollars américains, qui sont consacrés à des activités liées aux faisceaux d'électrons, comprenant la commercialisation (modèle pour l'industrie) et la recherche-développement (R-D).

En tant que centre collaborateur de l'AIEA, nous pouvons aller au-delà de la simple publication de travaux de qualité et faire en sorte que notre travail ait une portée mondiale. Nous entretenons des rapports solides avec l'AIEA et participons à ses projets de recherche coordonnée et à ses projets techniques. Ceux-ci nous permettent de partager nos compétences avec les personnes sur le terrain qui pourraient en avoir besoin, mais aussi d'établir des liens étroits avec d'autres scientifiques dans le monde. Nous restons ainsi à la pointe dans notre domaine, tout en suivant l'évolution de celui-ci.

Q : Que fait votre institut en tant que centre collaborateur ?

R : Notre mandat est vaste, mais nos travaux se concentrent essentiellement sur trois activités. Premièrement, nous voulons informer en vue de favoriser une meilleure compréhension

et une utilisation accrue de la technologie des faisceaux d'électrons. Deuxièmement, nous fournissons des conseils et transmettons des compétences à des pays, à des entreprises, à des organismes et à des individus pour les aider à adopter et à commercialiser cette technologie. Enfin, nous continuons d'aller toujours plus loin dans nos recherches afin d'améliorer la qualité de produits et la vie des gens.

C'est à cette fin que nous accueillons des scientifiques parrainés par l'AIEA et que nous nous rendons dans des pays concernés par des projets de l'Agence pour fournir un appui spécialisé. Nous organisons, en outre, des ateliers avec des participants parrainés par l'AIEA, notamment notre atelier pratique annuel sur la technologie des faisceaux d'électrons, événement unique en son genre, lors duquel des scientifiques ont l'occasion d'apprendre à utiliser cette technologie en mettant la main à la pâte.

Récemment, dans le cadre d'un projet de coopération technique pour l'Amérique latine, nous avons collaboré avec un petit groupe industriel mexicain, qui a construit la première installation commerciale de faisceaux d'électrons à Tijuana, ouverte en février 2017. En l'espace de deux à trois ans, nous lui avons enseigné tous les aspects de cette technologie, de la formation des personnes jusqu'au développement d'un modèle d'entreprise durable. Nous l'avons aussi aidé à établir une collaboration avec d'autres instituts locaux. L'AIEA a, quant à elle, donné des recommandations aux responsables et facilité les liaisons entre les experts d'Amérique latine et ceux du Mexique.

Q : Qu'est-ce qu'un faisceau d'électrons et à quelles fins l'utilisez-vous ?

R : Les faisceaux d'électrons sont des flux d'électrons de haute énergie produits à l'aide de matériel spécial, comme des accélérateurs linéaires. Nous les utilisons pour effectuer des travaux de recherche pouvant contribuer à assainir, à guérir, à alimenter et à façonner, sur notre planète et ailleurs.

À des fins d'assainissement, nous utilisons les faisceaux d'électrons dans nos travaux sur la remédiation environnementale, que ce soit pour le traitement des eaux usées ou de l'eau potable, ou encore pour la réutilisation de l'eau. S'agissant de la guérison, nos objectifs sont la mise au point de vaccins de pointe et la stérilisation de produits pharmaceutiques et d'appareils médicaux avancés. En ce qui concerne l'alimentation, nous utilisons cette technologie dans nos travaux visant à améliorer la qualité, la sûreté et la sécurité des aliments. Elle peut aussi servir à décontaminer des aliments ayant été délibérément contaminés. Enfin, pour ce qui est du « façonnage », nous cherchons à mettre au point un moyen d'utiliser ces faisceaux pour fabriquer des matériaux de pointe, allant de polymères classiques à des nanomatériaux et nanocomposés très avancés. Ce façonnage implique également le développement d'applications commerciales et la R-D, notamment dans l'espace, grâce à notre étroite collaboration avec l'Administration nationale de l'aéronautique et de l'espace (NASA) en matière d'applications avancées de la technologie des faisceaux d'électrons aux missions spatiales habitées et non habitées.

Q : Quels avantages la technologie des faisceaux d'électrons offre-t-elle par rapport à d'autres méthodes ?

R : La technologie des faisceaux d'électrons est l'une des technologies les plus économiques et les plus écologiques pour générer des radicaux libres. Les faisceaux d'électrons ne nécessitent pas d'apport de produits chimiques ou de chaleur pour modifier les matières, contrairement à d'autres méthodes, et leur empreinte carbone est aussi beaucoup plus faible. De plus, les autres technologies des rayonnements ionisants n'offrent pas la même souplesse d'utilisation.

En effet, puisqu'ils ne sont pas générés par une source radioactive et qu'on peut les allumer et les éteindre, les faisceaux d'électrons nous permettent de développer des applications

radiologiques tout en étant à l'abri d'une prolifération nucléaire, d'un vol ou de l'exposition à des rayonnements. C'est un très grand avantage car, dans le monde d'aujourd'hui, la sécurité est une source de préoccupation.

Q : Quel est le projet le plus intéressant sur lequel votre institut travaille actuellement ?

R : Deux domaines m'intéressent particulièrement, le premier étant la mise au point de vaccins pour l'homme et les animaux. Toutes les études que nous effectuons sur les maladies infectieuses montrent que nous ne faisons pour l'instant qu'effleurer la surface du potentiel qu'offre cette technologie dans le domaine des vaccins à forte valeur ajoutée. Nous savons à présent qu'il est possible de créer des vaccins à très forte valeur ajoutée et hautement efficaces contre diverses maladies infectieuses touchant l'homme et les animaux. C'est une perspective très exaltante !

Le second domaine qui me passionne est la remédiation de l'environnement. Qu'elle concerne les polluants chimiques dans les eaux souterraines ou les déchets municipaux, nous savons que par rapport à d'autres méthodes existantes, la technologie des faisceaux d'électrons sera un agent de changement qui, certes, comportera son lot de défis, mais peut révolutionner l'industrie. Par exemple, notre perception des déchets pourrait changer si nous parlions d'« installation de récupération des ressources » et non d'« usine de traitement des eaux usées ». Les déchets perdraient leur connotation négative et nous verrions dans chaque goutte d'eau rejetée par une habitation la possibilité d'une transformation en énergie ou en une autre ressource.

La technologie des rayonnements au service du développement : comment l'AIEA apporte son aide

Par Meera Venkatesh, Directrice de la Division des sciences physiques et chimiques, AIEA



Utilisés de manière judicieuse et en suivant les règles de sécurité appropriées, les rayonnements peuvent faire des merveilles dans notre vie et notre environnement, rendant notre monde plus sûr, plus sain et plus sécurisé. Si vous regardez autour de vous, vous constaterez l'utilité des rayonnements, sous diverses formes, dans votre quotidien, qu'il s'agisse de l'énergie fournie par le soleil ou des aliments propres que vous avez dans votre assiette. L'AIEA travaille avec des pays du monde entier à la promotion de l'utilisation pacifique de la technologie des rayonnements, dans l'intérêt de tous.

Les pays disposent de nombreux outils et méthodes pour atteindre leurs objectifs et relever les défis en matière de développement, mais pour beaucoup, la solution repose de plus en plus sur la technologie des rayonnements. En effet, celle-ci est reconnue comme étant l'une des options les plus rentables et les plus respectueuses de l'environnement. En raison de ses nombreuses applications, elle convient bien aux diverses activités nécessaires à la

réalisation des objectifs de développement durable des Nations Unies et de l'ensemble de leurs cibles, allant de la santé à l'environnement, en passant par l'industrie et les infrastructures.

Les rayonnements peuvent servir à briser des cellules vivantes pour traiter des maladies comme le cancer, lutter contre des agents pathogènes nocifs dans les aliments, ou encore stériliser des outils chirurgicaux et du matériel médical. Ils permettent en outre de détruire des polluants dans l'eau, l'air et le sol, avant que ceux-ci ne contaminent l'environnement. Grâce à la technologie des rayonnements, d'autres déchets, comme la bagasse (matière fibreuse issue de l'industrie sucrière) ou les coquilles des produits de la mer, comme les crevettes, peuvent être transformés en matériaux biodégradables et écologiques, tels que des emballages alimentaires ou de riches nutriments agricoles. Les rayonnements peuvent aussi servir à assembler et à lier des molécules pour fabriquer des câbles et des fils plus solides et plus résistants, ainsi que des matériaux et des revêtements hautement performants utilisés dans les habitations, les voitures et les industries aux quatre coins du monde.

Ils permettent même de voir l'intérieur de bâtiments et de machines pour s'assurer de la solidité et de la sûreté de leur structure, notamment après une catastrophe naturelle. Les rayonnements trouvent une autre application dans les aéroports, les agents de sécurité inspectant les passagers et leurs bagages au moyen de scanners. Ces quelques exemples illustrent la diversité des utilisations possibles de la technologie des rayonnements.

Pour tirer profit de la science et de la technologie des rayonnements, les pays doivent disposer de professionnels hautement compétents et du matériel adéquat. Grâce à l'appui de l'AIEA, nombre d'entre eux peuvent bénéficier des cours de formation théorique et pratique, des conseils d'experts et du matériel nécessaires pour adopter cette technologie. Des centaines de scientifiques d'instituts et d'organisations de pays développés et de pays en développement



(Photo : N. Jawerth/AIEA)



(Photo : L. Potterton/AIEA)

travaillent également ensemble dans le cadre de projets de recherche coordonnée de l'AIEA qui font progresser la recherche scientifique.

Ces projets aboutissent souvent à d'importantes applications pratiques, dont bon nombre sont ensuite incluses dans les activités menées au titre du programme de coopération technique de l'AIEA, qui vise à diffuser les technologies nucléaires là où il y a lieu. Ce soutien complet est essentiel pour beaucoup de pays, notamment ceux à revenu faible et intermédiaire ayant des ressources restreintes.

Pôle de recherche, d'innovation et de progrès

Les diverses applications de la technologie des rayonnements sont le résultat de décennies de recherche et développement dans la science des rayonnements. Comme dans tout domaine scientifique, les chercheurs ne travaillent pas isolément. Il est crucial que les pays collaborent pour échanger des idées et tirer le meilleur parti de cette technologie. L'AIEA organise des réunions, des événements et des conférences, comme la Conférence internationale sur les applications de la science et de la technologie des rayonnements (ICARST), qui se tiendra du 24 au 28 avril 2017, lors desquels des scientifiques, des experts et des spécialistes de l'industrie peuvent se rencontrer et apprendre mutuellement de leurs expériences. Ces rencontres sont indispensables pour progresser dans le domaine, recenser les meilleures pratiques et trouver de nouvelles applications innovantes de ces techniques performantes.

C'est en partie grâce à des partenariats solides entre des universités et l'industrie que la recherche dans le domaine de

la science et de la technologie des rayonnements peut sortir du cadre des laboratoires et trouver des applications dans des usines et des entreprises du monde entier. L'AIEA contribue à faciliter les partenariats stratégiques entre les secteurs public et privé grâce à des initiatives nationales, régionales et mondiales. Lorsque des scientifiques et des experts s'associent à des spécialistes de l'industrie, la technologie peut être appliquée à une plus grande échelle et, dans de nombreux cas, commercialisée. Ainsi, la technologie des rayonnements profite aujourd'hui à tous en raison de ses applications dans des produits d'usage quotidien.

Utilisation sûre et sécurisée

La technologie des rayonnements peut certes contribuer à un avenir meilleur, mais seulement si elle est utilisée dans des conditions de sûreté et de sécurité. L'adoption de la technologie des rayonnements va donc de pair avec la mise en place d'un système de sûreté et de sécurité. De nombreux pays comptent sur l'appui de l'AIEA pour mettre en place un système de réglementation et de politiques qui respecte les normes de sûreté et de sécurité établies au niveau international, mais aussi pour élaborer une réglementation appropriée en matière de qualité et bénéficier de la formation et de la certification du personnel nécessaires. Entre les mains de spécialistes bien formés travaillant de manière sûre et sécurisée, la technologie des rayonnements offre d'immenses possibilités pour améliorer notre qualité de vie et stimuler l'industrialisation et le développement des pays à travers le monde.

Synthèses de l'AIEA : une nouvelle publication à l'intention des décideurs

L'AIEA a lancé une nouvelle collection de publications, appelée Synthèses de l'AIEA, qui a pour objectif d'informer les décideurs des meilleures façons de tirer parti des services de l'Agence visant à renforcer les capacités et à appuyer le développement. Publiées depuis l'automne 2016, les synthèses de l'AIEA couvrent un large éventail de sujets relatifs aux applications de la science et de la technologie nucléaires et fournissent aussi des recommandations à l'intention des États Membres de l'AIEA.

Elles traitent également de questions régionales. Ainsi, la synthèse intitulée Améliorer la prise en charge des patients en Afrique grâce à une imagerie médicale sans risques souligne combien il est important qu'il y ait en Afrique des physiciens médicaux qualifiés sachant utiliser du matériel d'imagerie médicale de pointe, comme des scanners multidétecteurs de tomodensitométrie hélicoïdale.

Une autre synthèse, sur le dépistage et le traitement du cancer du col de l'utérus à l'aide des techniques d'imagerie diagnostique et de la radiothérapie, porte en particulier sur le soutien qu'apporte l'AIEA aux États Membres d'Amérique latine et des Caraïbes et explique comment la médecine nucléaire et la radiothérapie peuvent permettre un diagnostic précoce et un traitement efficace de divers types de cancers, dont celui du col de l'utérus. Ce document décrit l'assistance que l'AIEA propose aux États Membres pour renforcer

leurs programmes nationaux de prise en charge du cancer du col de l'utérus grâce à la formation, à la mise à disposition d'experts, à des bourses et à l'achat de matériel.

La troisième publication de cette collection, qui a pour thème l'utilisation des techniques nucléaires à des fins d'évaluation des pratiques d'allaitement pour améliorer la nutrition et la santé, attire l'attention sur des techniques faisant appel aux isotopes stables, lesquelles permettent d'évaluer certaines activités pour améliorer les pratiques d'alimentation du nourrisson et du jeune enfant. Cette synthèse fournit des informations sur divers projets menés par l'AIEA dans des États Membres en vue d'aider ceux-ci à acquérir les compétences nécessaires pour appliquer ces techniques, qui permettent d'obtenir des données fiables et objectives sur les pratiques d'allaitement.

L'Agence prévoit de publier d'autres synthèses et fiches d'information.

Les fiches d'information de l'AIEA

L'AIEA a également commencé à mettre à jour sa série de fiches d'information, en y ajoutant des renseignements utiles. Ces documents mettent en évidence la diversité des activités de l'AIEA relatives aux applications pacifiques de la technologie nucléaire dans les domaines de l'énergie,



de la santé, de l'industrie, de l'alimentation et de l'agriculture, de la sûreté et de la sécurité nucléaires, et des garanties et de la vérification. Par exemple, les fiches d'information relatives à la sûreté et la sécurité nucléaires portent notamment sur la sécurité de l'information et la cybersécurité, la Convention sur la protection physique des matières nucléaires et son amendement, ou encore la criminalistique nucléaire.

Dans le domaine de la santé, la fiche d'information intitulée Les moustiques vecteurs du virus Zika : l'utilité de la technique de l'insecte stérile traite de l'aide et des activités proposées par l'AIEA pour lutter contre les moustiques vecteurs de maladies.

Vous pouvez consulter les synthèses de l'AIEA ainsi que les différentes fiches d'information à l'adresse suivante : iaea.org/publications/factsheets.

— Par Aabha Dixit

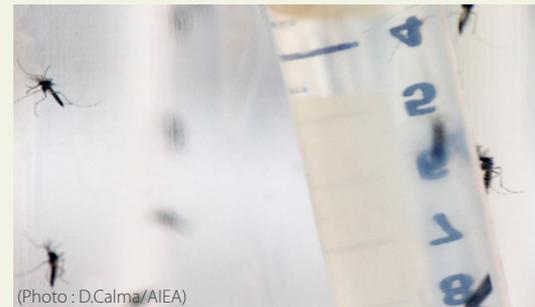
Une nouvelle méthode permet de faire avancer la recherche dans la lutte contre les moustiques grâce aux techniques nucléaires

Dévoilée en décembre 2016, une méthode novatrice de séparation des moustiques mâles et femelles pourrait constituer une avancée majeure dans l'utilisation de la technique nucléaire de l'insecte stérile (TIS) pour lutter contre les insectes qui transmettent des maladies, comme la maladie à virus Zika, la dengue et le chikungunya.

La TIS consiste à utiliser les rayonnements ionisants pour stériliser des insectes de l'espèce ciblée élevés en masse, puis à lâcher ceux-ci dans la nature, où ils s'accouplent avec des insectes sauvages sans engendrer de descendance, ce qui permet de réduire peu à peu la population du ravageur concerné. Plus de 40 pays ont appliqué la TIS avec succès pour lutter contre des insectes ravageurs qui sévissent dans l'agriculture, comme

la mouche des fruits, la mouche tsé-tsé, la lucilie bouchère et les hétérocères. Son utilisation dans la lutte contre le moustique Aedes a fait l'objet de multiples recherches l'an dernier en raison de l'épidémie de maladie à virus Zika. En partenariat avec l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), l'AIEA dirige la recherche mondiale sur la mise au point et l'application de la TIS, notamment pour lutter contre les moustiques Aedes.

La principale difficulté à laquelle sont confrontés les scientifiques qui cherchent à accroître l'utilisation de la TIS contre diverses espèces de moustiques est l'absence de méthode fiable permettant de retirer les moustiques femelles avant de procéder à un lâcher. L'élimination des femelles avant le



(Photo : D.Calma/AIEA)

lâcher est une étape essentielle pour assurer l'efficacité de la TIS contre les moustiques, car c'est par les piqûres de moustiques femelles que les maladies sont transmises.

Dans les pays où l'utilisation de la TIS contre les moustiques Aedes est testée et dans ceux où il est prévu de le faire, comme le Brésil, la Chine et le Mexique, on a recours à une méthode manuelle pour séparer les mâles des femelles. Étant donné que les pupes femelles, qui correspondent au stade intermédiaire entre la larve et l'imago dans le cycle de vie de l'insecte, sont plus

grandes que les pupes mâles, il est possible de repérer et de retirer les femelles avant le lâcher. « Cependant, cette méthode nécessite beaucoup de personnel et ne convient donc pas pour séparer des dizaines de millions de moustiques, ce qui serait nécessaire dans le cadre d'une utilisation de la TIS à plus grande échelle en vue de protéger les villes de la transmission des maladies », précise Rui Cardoso-Pereira, spécialiste de la TIS au sein de la Division mixte FAO/AIEA des techniques nucléaires dans l'alimentation et l'agriculture.

Sous les auspices de la Division mixte FAO/AIEA, des spécialistes de 13 pays travaillent depuis 2013 sur un projet quinquennal de recherche coordonnée visant à mettre au point d'autres méthodes pour effectuer ce que les initiés appellent le « sexage des moustiques ».

Loin d'une illusion d'optique

Des chercheurs de TRAGSA, entreprise publique espagnole dont les activités portent sur les sciences et les services environnementaux, ont récemment

construit le prototype d'un appareil qui permet de distinguer les moustiques mâles des moustiques femelles à l'aide de la technologie de vision artificielle, puis d'éliminer les femelles au moyen de faisceaux laser. « L'appareil comporte un disque tournant qui distribue les pupes élevées en masse, lesquelles sont ensuite analysées à l'aide d'un logiciel qui différencie les sexes en fonction de la taille de la pupe », explique Ignacio Plá Mora, du département de lutte contre les ravageurs de TRAGSA.

« Les résultats préliminaires des tests effectués montrent que 99,7 % des femelles ont été éliminées, tandis que jusqu'à 80 % des mâles ont survécu et pu être lâchés », ajoute-t-il. « Ces résultats sont très satisfaisants par rapport à ceux obtenus avec les méthodes manuelles actuellement utilisées », se réjouit-il.

Si le prototype peut traiter un million de moustiques Aedes mâles par jour, il ne peut pas encore être totalement transposé à l'échelle industrielle, ce qui serait nécessaire pour une utilisation au niveau régional. Toutefois, d'après Rui Cardoso-Pereira, il

conviendra tout à fait à des projets menés à l'échelle d'une ville ou d'un village, notamment dans les pays où les coûts de main-d'œuvre liés au triage manuel des pupes de moustiques sont prohibitifs. En attendant, les recherches se poursuivent pour perfectionner la méthode afin d'éliminer moins de mâles et pour la rendre utilisable à plus grande échelle.

La participation de TRAGSA au projet de recherche coordonnée a contribué au développement de cette nouvelle technique. « La collaboration entre experts de haut niveau permet d'accélérer les recherches de chacun », conclut Rui Cardoso-Pereira.

— Par Miklos Gaspar

Arménie : les travaux de recherches effectués en physique pendant des années sauvés par la numérisation

Plus d'un millier de documents de recherche de l'Arménie sur la physique et l'astrophysique des hautes énergies qui avaient été détruits ont pu être récupérés grâce à des copies numériques sauvegardées par le Système international d'information nucléaire (INIS) de l'AIEA.

Pendant plus de 25 ans, des milliers de travaux de recherche détenus par la bibliothèque de l'Institut de physique d'Erevan, dont le financement était insuffisant, ont été stockés dans des locaux poussiéreux. Ils ont été tellement salis qu'il était impossible de les nettoyer sans les endommager.

« Dans les années 1960, 1970 et 1980, nous avons distribué ces documents de recherche à tous les grands laboratoires et les avons transférés à l'AIEA », raconte Ashot Chilingarian, directeur de l'Institut. « Heureusement, l'INIS a numérisé et préservé toutes nos archives, qui sont aujourd'hui accessibles sous forme numérique. Elles ont été littéralement sauvées », ajoute-t-il.

En mai 2016, après que l'Institut de physique d'Erevan a obtenu le statut de Laboratoire national, sa direction

a demandé l'aide de l'AIEA pour reconstituer les archives anciennes. Le personnel de l'AIEA a fourni à l'Institut les documents de recherche numérisés et l'a aidé à créer une base de données scientifiques grâce à laquelle tous les documents récupérés sont désormais accessibles en ligne à l'adresse ivenio.yerphi.am.

« Spécialisés dans les domaines de la physique et de l'astrophysique à hautes énergies, les scientifiques de l'Institut de physique d'Erevan collaborent avec des partenaires internationaux en utilisant les plus grands accélérateurs de particules et détecteurs de rayons cosmiques au monde et participent ainsi à des expériences internationales depuis les années 1980 », explique Ashot Chilingarian. Aujourd'hui, l'Institut publie à peu près 30 % des travaux de recherche arméniens et a l'intention d'ajouter chaque nouvelle publication à sa base de données.

« Ce projet a non seulement permis à l'Institut d'obtenir et de réutiliser les données scientifiques perdues, mais aussi d'introduire des technologies modernes pour appuyer les activités des installations de recherche en Arménie », affirme



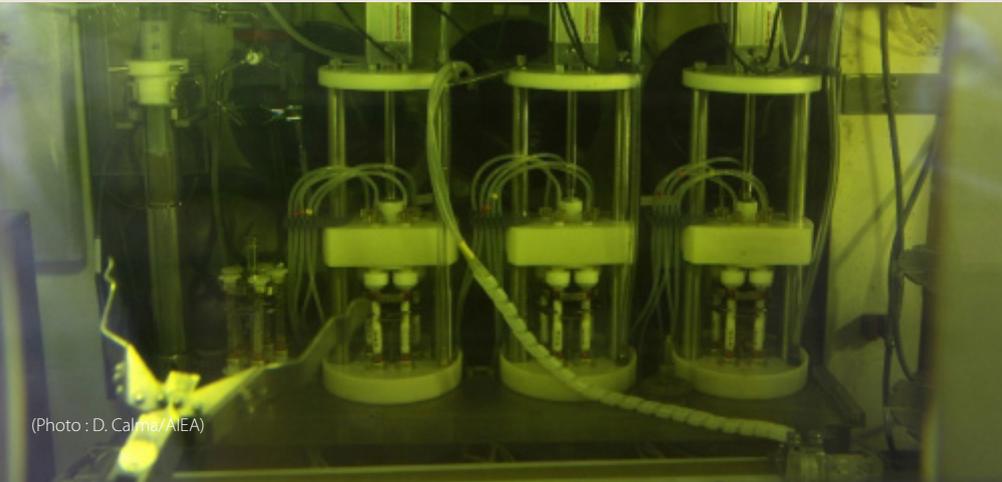
Photo : YerPhi

Zaven Hakopov, coordonnateur de l'INIS à l'AIEA. Il ajoute que l'Agence prévoit d'aider d'autres pays, sur le modèle de l'Arménie, à créer des bases de données nationales d'informations nucléaires afin d'encourager la recherche-développement.

L'INIS est géré par l'AIEA et contient l'une des plus vastes collections au monde de publications sur la science et la technologie nucléaires. Ses quatre millions de références bibliographiques sont consultées par plus de deux millions de personnes chaque année. Grâce à ce système, l'AIEA peut recueillir des données, des informations et des connaissances nucléaires sur les utilisations pacifiques de l'énergie nucléaire et les mettre à la disposition des États Membres, contribuant à faire avancer la recherche-développement et aidant les pays à réaliser les objectifs de développement durable des Nations Unies.

— Par Laura Gil

Une technologie alternative pour accroître la production de ⁹⁹Mo



(Photo : D. Calma/AIEA)

Une méthode alternative de production de molybdène 99 (⁹⁹Mo) pourrait aider à améliorer l'approvisionnement en cet isotope important, qui permet à des millions de patients dans le monde de recevoir des soins de santé essentiels. C'est ce que révèle un article paru dans *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, fondé sur des recherches menées avec l'aide de l'AIEA et co-signé par un expert de l'AIEA.

Alors que les principaux réacteurs de recherche fournissant du ⁹⁹Mo vieillissent et que leur production cesse, la méthode alternative décrite dans cet article offre un moyen simple de produire autrement, d'assurer la continuité de l'approvisionnement en ⁹⁹Mo et d'éviter ainsi toute interruption des services de médecine nucléaire.

Des problèmes rencontrés par le passé

En 2009, des réacteurs utilisés pour produire du ⁹⁹Mo au Canada et aux Pays-Bas ont dû être temporairement arrêtés en vue de la réalisation d'opérations de réparation et de maintenance, ce qui a fortement perturbé les services de santé dans le monde. Des examens d'imagerie médicale ont dû être annulés et des opérations reportées. Dans certains cas, les professionnels de la médecine ont dû recourir à d'anciennes techniques moins efficaces. Bien que les conditions d'approvisionnement se soient améliorées depuis lors, des responsables du domaine de la santé et des scientifiques cherchent de nouveaux moyens de répondre à ce que les Académies nationales des sciences, des technologies et de la médecine des États-Unis ont appelé les « vulnérabilités de l'approvisionnement » dans un rapport

de 2016 intitulé *Molybdenum-99 for Medical Imaging*.

« Ces perturbations ont été un avertissement qui nous a montré qu'il fallait changer quelque chose dans la façon de produire du ⁹⁹Mo », se souvient Danas Ridikas, spécialiste des réacteurs de recherche à l'AIEA et co-auteur de l'article en question. « Pour assurer un approvisionnement en ⁹⁹Mo qui soit continu, stable et économiquement viable, il est aujourd'hui essentiel de diversifier les méthodes et les lieux de production de ⁹⁹Mo, d'utiliser plus efficacement cet isotope et d'élaborer un modèle économique permettant d'amortir les coûts de production. »

Le ⁹⁹Mo est le précurseur du technétium 99m (^{99m}Tc), radionucléide le plus utilisé en imagerie médicale. Le ^{99m}Tc se désintégrant rapidement, c'est son précurseur, moins instable, qui est produit et transporté jusqu'aux hôpitaux.

« La production de ⁹⁹Mo d'un réacteur de recherche canadien ayant cessé en octobre 2016 et un important producteur des Pays-Bas devant mettre fin à ses activités d'ici 2024, il devient urgent de mettre au point d'autres méthodes de production », estime Danas Ridikas. « L'irradiation de molybdène naturel ou enrichi est l'une des méthodes alternatives les moins utilisées, bien que viables, à laquelle on pourrait faire appel pour satisfaire les besoins nationaux, en particulier dans les pays qui possèdent des réacteurs de recherche », ajoute-t-il.

Irradiation de molybdène

Grâce à la technique en question, déjà utilisée au Chili, en Inde, au Kazakhstan,

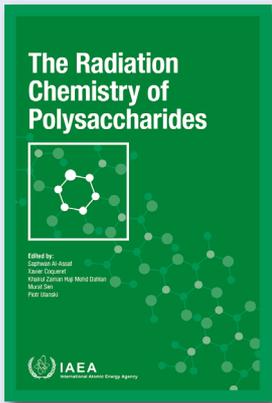
en Ouzbékistan, au Pérou et en Russie, le processus de production est plus simple et génère moins de déchets radioactifs qu'avec la méthode classique de production de ⁹⁹Mo par fission à partir d'uranium. La technique pourrait aussi permettre de mieux utiliser les réacteurs de recherche. Plusieurs pays, dont la Jordanie, le Maroc et le Mexique, envisagent de la mettre en œuvre.

Cette nouvelle méthode semble prometteuse, mais les experts évaluent encore son efficacité. En décembre 2015, lors d'un atelier sur ce sujet organisé par l'AIEA, des experts venus de 15 installations de réacteurs de recherche situées dans 12 pays se sont réunis pour examiner la méthode et évaluer sa faisabilité. Des expériences consistant à irradier des cibles de molybdène naturel ont été réalisées dans plusieurs réacteurs de recherche, avec l'appui de l'AIEA. Elles ont montré de manière claire qu'on obtenait moins de ⁹⁹Mo par gramme de matière irradiée avec la méthode d'irradiation qu'avec la méthode de fission. Cependant, les quantités produites devraient être suffisantes pour satisfaire les besoins locaux dans plusieurs pays.

« On obtient un pourcentage de ⁹⁹Mo supérieur en irradiant du molybdène enrichi, mais cette matière première est plus coûteuse. Par conséquent, même si le rendement est inférieur, il peut s'avérer plus intéressant d'utiliser du molybdène naturel », explique Danas Ridikas. « Il reste encore à déterminer le rapport coût-efficacité de l'irradiation et du traitement, afin de le comparer à celui de la méthode par fission. »

Sur la base des enseignements tirés de l'atelier et de données sur les capacités de production approximatives des réacteurs, Danas Ridikas et plusieurs autres scientifiques ont écrit un article qui a été publié dans *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. Ces informations contribuent également à faire avancer la recherche. Un atelier connexe sur le traitement de cibles irradiées et la préparation de générateurs de technétium 99m, qui utilisent du ⁹⁹Mo produit par capture neutronique, sera organisé par l'AIEA au Kazakhstan en 2017.

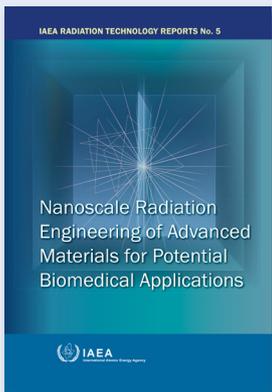
— Jeremy Li



The Radiation Chemistry of Polysaccharides

Cette publication contient des informations générales sur la mise au point de produits radiotraités conçus à partir de biopolymères. Elle offre aussi un récapitulatif des conclusions des dernières recherches dans ce domaine et décrit en détail les activités menées. Les recherches menées à bonne fin indiquent clairement que le radiotraitement des biopolymères ouvre des perspectives intéressantes du fait des caractéristiques particulières de ces matériaux polymères, qui peuvent être exploitées dans un éventail d'applications pratiques, aussi bien dans l'agriculture que la santé, l'industrie ou l'environnement.

Non-serial Publications ; ISBN:978-92-0-101516-7 ; 75 euros ; 2016 (en anglais)
www-pub.iaea.org/books/iaeabooks/10843/Poly



Nanoscale Radiation Engineering of Advanced Materials for Potential Biomedical Applications

Cette publication décrit les résultats d'un projet de recherche coordonné de l'AIEA sur la nano-ingénierie des rayonnements de matériaux avancés pour des applications biométriques potentielles. Elle présente une synthèse des progrès accomplis par les organismes participants.

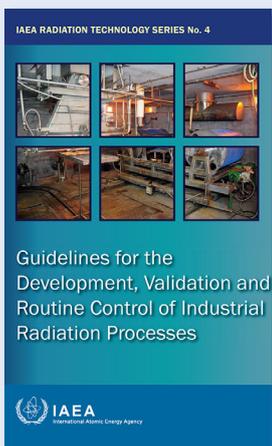
IAEA Radiation Technology Reports No. 5 ; ISBN:978-92-0-101815-1 ; 49 euros ; 2015 (en anglais)
www-pub.iaea.org/books/IAEABooks/10641/Nano



Utilization of Accelerator Based Real Time Methods in Investigation of Materials with High Technological Importance

Cette publication offre un aperçu des toutes dernières avancées réalisées dans la mise au point et l'application de diverses techniques d'examen en temps réel des matériaux reposant sur des accélérateurs. Vous y trouverez des exemples d'études et de difficultés relevant de domaines scientifiques pluridisciplinaires où l'application de méthodes basées sur les accélérateurs permettrait d'obtenir des données précieuses aux fins de la recherche et de mieux comprendre certains points scientifiques. Par ailleurs, il y est brièvement question des activités de recherche dans lesquelles la caractérisation en temps réel des matériaux à l'aide de faisceaux de rayonnements synchrotroniques, de neutrons, d'ions et d'électrons pourrait se révéler avantageuse, de même que de l'utilisation simultanée de différentes techniques en association. Il ressort souvent des études présentées que davantage de travaux seront nécessaires avant qu'on parvienne à mettre au point des matériaux suffisamment robustes et durables pour être exploités dans des applications énergétiques.

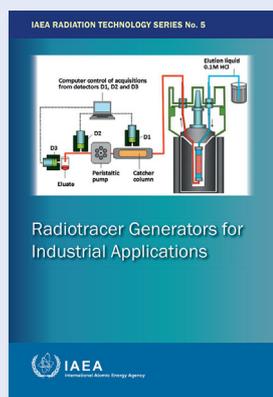
IAEA Radiation Technology Reports No. 4 ; ISBN:978-92-0-102314-8 ; 37 euros ; 2015 (en anglais)
www-pub.iaea.org/books/IAEABooks/10490/RTM



Guidelines for Development, Validation and Routine Control of Industrial Radiation Processes

Élaborées sur la base de demandes d'États Membres, ces orientations visent à aider ces derniers à satisfaire aux exigences relatives à la mise au point, à la validation et au contrôle de routine d'un procédé d'irradiation, telles qu'elles sont définies dans la norme internationale correspondante de l'Organisation internationale de normalisation (ISO). Si cette norme ISO a été élaborée pour la stérilisation de produits sanitaires, les lignes directrices énoncées dans cette publication élargissent sa portée et englobent tous les procédés d'irradiation. En effet, les principes qui régissent la réglementation d'un procédé d'irradiation servant à assurer la qualité des produits sont généralement les mêmes quel que soit le produit ou l'application. Des informations portant sur le procédé d'irradiation ont été ajoutées à plusieurs endroits afin d'aider les techniciens qui utilisent des irradiateurs et leurs responsables de la qualité à améliorer le service à la clientèle.

IAEA Radiation Technology Series No. 4 ; ISBN:978-92-0-135710-6 ; 29 euros ; 2013 (en anglais)
www-pub.iaea.org/books/IAEABooks/8676/Industrial



Radiotracer Generators for Industrial Applications

Cette publication est une précieuse source d'information en ce qui concerne la mise au point de générateurs de radiotraceurs et leur utilisation pour la résolution de problèmes en lien avec les processus industriels et l'optimisation de ces processus. Elle décrit les résultats de recherches sur la caractérisation des radiotraceurs $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$, $^{137}\text{Cs}/^{137\text{m}}\text{Ba}$, $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ et $^{113}\text{Sn}/^{113\text{m}}\text{In}$ et sur leur validation dans le cadre d'études sur les procédés industriels. À en juger par les tendances qui se dessinent dans le processus d'industrialisation des pays en développement, il apparaît que les techniques faisant appel aux radiotraceurs continueront de jouer un rôle important dans l'industrie pendant de nombreuses années encore. Les conclusions de ce projet de recherche aideront les États Membres à faire plus largement appel à la technologie des radiotraceurs pour résoudre des problèmes touchant l'industrie et l'environnement.

IAEA Radiation Technology Series No. 5 ; ISBN:978-92-0-135410-5 ; 34 euros ; 2013 (en anglais)
www-pub.iaea.org/books/IAEABooks/8921/Radiotracers

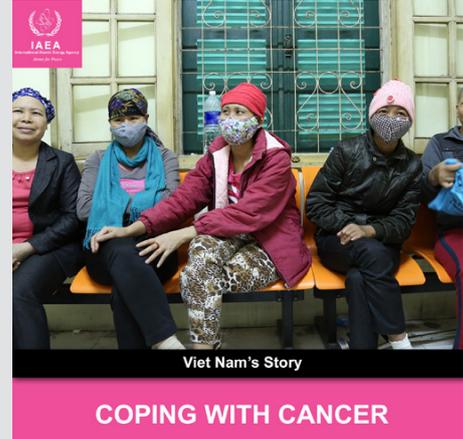
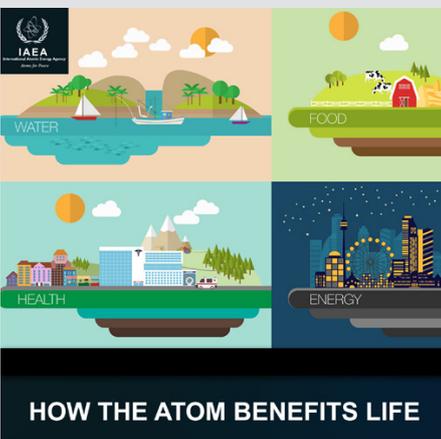
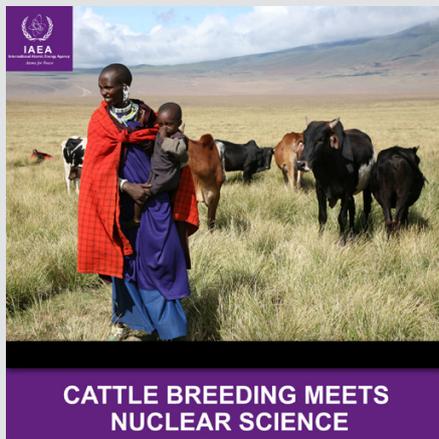
L'AIEA est l'un des principaux éditeurs de publications ayant trait au domaine nucléaire. Elle a fait paraître plus de 9 000 publications scientifiques et techniques sur des sujets tels que les normes internationales de sûreté, des guides techniques, des comptes rendus de conférences et des rapports 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 pour 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, A-1400 Vienne (Autriche)

Courriel : sales.publications@iaea.org

FILMS DE L'AIEA



Pour visionner les films de l'AIEA : www.youtube.com/iaeavideo

Conférence internationale sur LA RADIOPROTECTION EN MÉDECINE

Opérer un changement dans la pratique

11-15 décembre 2017
Vienne (Autriche)



Organisée par



Coparrainée par



www.iaea.org/meetings
CN-255

