

# IAEA BULLETIN

AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE

Septembre 2015 • [www.iaea.org/bulletin](http://www.iaea.org/bulletin)

## L'atome dans l'industrie

La technologie des rayonnements au service  
du développement



#### LE BULLETIN DE L'AIEA

est produit par le Bureau de l'information  
et de la communication (OPIC).

Agence internationale de l'énergie atomique  
B.P. 100, 1400 Vienne (Autriche)  
Téléphone : (43-1) 2600-21270  
Fax : (43-1) 2600-29610  
iaeabulletin@iaea.org

Rédacteur : Miklos Gaspar  
Rédactrice en chef : Aabha Dixit  
Collaboratrice à la rédaction : Nicole Jawerth  
Conception et production : Ritu Kenn

Le Bulletin de l'AIEA est disponible  
> en ligne : [www.iaea.org/bulletin](http://www.iaea.org/bulletin)  
> comme application mobile :  
[www.iaea.org/bulletinapp](http://www.iaea.org/bulletinapp)

Des extraits des articles du Bulletin peuvent être  
utilisés librement à condition que la source soit  
mentionnée. Lorsqu'il est indiqué que l'auteur n'est pas  
fonctionnaire de l'AIEA, 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'AIEA décline  
toute responsabilité à cet égard.

Couverture : A.Schlossman/AIEA



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

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

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

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

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

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

L'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 à Trieste (Italie).

Découvrez cette édition sur iPad



# L'atome dans l'industrie : la technologie des rayonnements au service du développement

Par Yukiya Amano, Directeur général de l'AIEA

Les technologies industrielles de pointe sont la clé de la réussite d'une économie forte, dans les pays développés comme ceux en développement. La science et la technologie nucléaires, en particulier, peuvent largement concourir à la croissance économique et à la compétitivité, et elles ont un rôle important à jouer dans le domaine du développement durable. L'AIEA contribue à rendre la science et la technologie nucléaires accessibles aux pays pour leur permettre de viser des objectifs de développement plus vastes dans des domaines tels que la médecine, l'agriculture, la gestion des ressources naturelles et la protection de l'environnement. La présente édition du Bulletin de l'AIEA présente plusieurs façons de mettre la technologie au service de l'industrie.

Les technologies des rayonnements font partie de notre quotidien. Elles sont utilisées de manière sûre et contrôlée dans l'industrie pour traiter et tester bâtiments, canalisations, appareils médicaux, pièces de voitures et bien d'autres choses encore. Elles permettent d'améliorer la qualité et la sûreté des produits, ce qui profite tant au fabricant qu'au consommateur. Comme l'illustrent les articles de cette édition du Bulletin, les technologies des rayonnements offrent souvent une approche plus écologique que les méthodes traditionnelles, et elles consomment moins d'énergie tout en produisant moins de déchets.

Face à la croissance démographique, les pays à revenu faible et intermédiaire doivent trouver des solutions pour accélérer leur développement industriel, afin d'accroître

la production et de satisfaire la demande des consommateurs de manière durable. Les technologies nucléaires peuvent contribuer à la mise en œuvre de processus à la fois plus rentables et plus sûrs pour l'environnement, qui donnent naissance à des produits de meilleure qualité, qui profiteront en fin de compte à la société.

L'AIEA consacre une grande partie de ses activités à mettre les technologies de rayonnements à la disposition des États Membres et à aider ces derniers à les utiliser de façon pacifique. Dans le cadre des projets de coopération technique, des activités de recherche coordonnée et des réunions scientifiques, des centaines de scientifiques et d'experts du monde entier œuvrent ensemble à améliorer encore les technologies de rayonnements et à les mettre au service de l'industrie. Au cours des dernières années, cette coopération technique a également stimulé la coopération Sud-Sud entre certains pays en développement : la Malaisie aide le Soudan à mettre en œuvre les techniques d'essai non destructif et le Viet Nam transfère la technologie des radiotraceurs à l'Angola, pour ne citer que deux des exemples présentés dans cette édition.

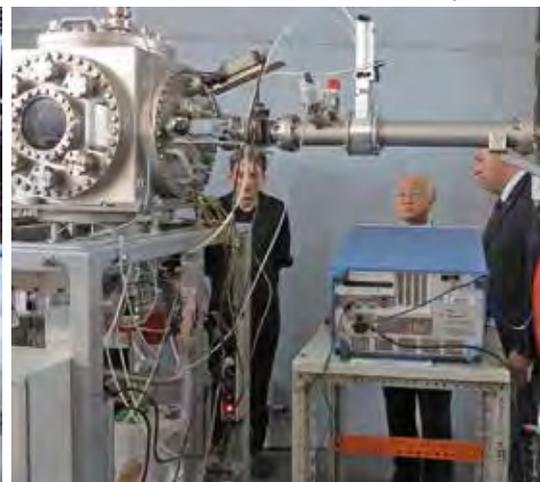
À l'occasion du forum scientifique de l'AIEA cette année, plusieurs de ces technologies seront présentées et d'éminents experts se rencontreront pour examiner les dernières tendances et les meilleures pratiques dans ce domaine. Je vous invite à assister au forum à Vienne ou à suivre son déroulement en ligne sur le site <https://www.iaea.org/about/policy/gc/gc59/scientific-forum>.



**« Les technologies de rayonnements offrent souvent une approche plus écologique que les méthodes traditionnelles, et elles consomment moins d'énergie tout en produisant moins de déchets. »**

— Yukiya Amano,  
Directeur général de l'AIEA

(Photos : C. Brady/AIEA)



## **1 L'atome dans l'industrie : la technologie des rayonnements au service du développement**

### **4 L'atome peut jouer un rôle important dans l'industrie : le forum scientifique de l'AIEA**

Combattre les microbes (soins de santé)



**6 Pour de meilleurs soins de santé, le Ghana stérilise le matériel médical à l'aide de la technologie des rayonnements**

Lier les chaînes (production de matériaux avancés)



**8 L'Égypte met au point des pansements hydrogels à l'aide de polymères irradiés pour soigner les blessures**



**10 Viet Nam : Création de supercultures à partir de biopolymères irradiés**

Trouver des solutions contre la pollution (remédiation environnementale)



**12 En Pologne, les centrales au charbon améliorent la qualité de l'air grâce aux faisceaux d'électrons**



**14 L'industrie chinoise fait appel à la technologie des rayonnements pour assainir l'eau**

Tracer la voie (accroître la productivité et la fiabilité des processus industriels)



**16 Les traceurs au service de la cartographie des gisements de pétrole**



**18 Maintenir l'accessibilité des ports : le Brésil économise « des millions » en frais de dragage grâce aux techniques nucléaires**

Renforcer la sûreté et la qualité (gestion de la sûreté et de la qualité)



**20 Les rayons X dans l'industrie : les essais non destructifs contribuent à la compétitivité de la Malaisie**

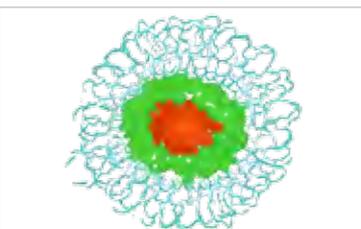


**22 Une activité minière profitable grâce à la technologie des rayonnements**

Rayons d'espoir (nouvelles avancées et innovations)



**24 Le « vieil homme fragile » : le Mexique et la France sauvent une sculpture vieille de 2 000 ans grâce à des techniques nucléaires**



**26 Les nanoparticules : petites par la taille, grandes par l'impact – Les rayonnements ionisants comme outil de nano-ingénierie**

# L'atome peut jouer un rôle important dans l'industrie : le forum scientifique de l'AIEA

Par Luciana Viegas

L'industrie est devenue indispensable dans nos sociétés modernes. À l'heure où le monde va plus loin et plus vite, où les villes se développent jusqu'à former d'immenses conurbations, où le commerce ne connaît plus de frontières, où les amis restent unis par les liens invisibles d'Internet, il est difficile d'imaginer une vie sans les produits fabriqués et transformés à grande échelle par l'industrie.

Le forum scientifique sera centré cette année sur les applications des technologies de rayonnements dans l'industrie, ainsi que sur les moyens qu'elles offrent pour contrôler la qualité de produits de notre quotidien (pneus, câbles de voitures, etc.), améliorer la durée de vie de divers matériaux voire épurer les eaux usées. Des experts de renom, des universitaires et des représentants du secteur industriel se réuniront à Vienne (Autriche) les 15 et 16 septembre 2015, en marge de la Conférence générale de l'AIEA, pour faire le point sur les multiples avantages que présentent ces techniques, en particulier pour ce qui est du développement durable.

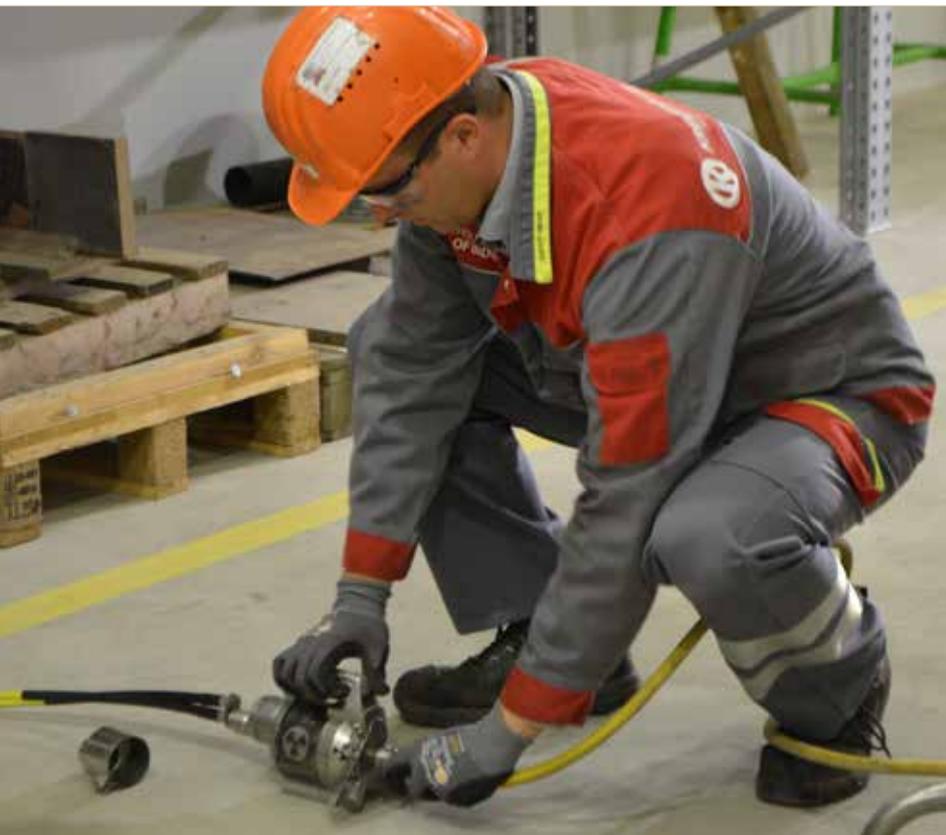
À l'occasion de ce forum, des discussions entre experts de haut niveau seront organisées sur les thèmes suivants :

## Combattre les microbes

En commençant par le secteur de la santé, les experts se pencheront sur les procédés radiologiques employés pour tuer les germes et stériliser ainsi des équipements médicaux qui servent à sauver des vies, pour créer des vaccins plus efficaces ou pour traiter les greffons de manière sûre en vue d'une transplantation.

## Lier les chaînes

Lors de cette séance, il sera question des polymères (de grandes molécules synthétiques ou naturelles constituées de la répétition de nombreuses sous-unités) et des procédés radiologiques qui permettent d'en améliorer la stabilité, la résistance à la chaleur et la durabilité. Appréciés pour leur polyvalence, les polymères sont présents en abondance dans notre quotidien. Environ 90 % des matériaux entrant dans la fabrication des automobiles, des avions et des ordinateurs dans le monde contiennent ainsi des polymères réticulés. Les techniques de radiotraitement sont aussi mises à profit dans les industries médicale et cosmétique, et même dans le secteur agricole, où elles sont employées pour mettre au point des produits qui accélèrent la croissance des plantes.



## Trouver des solutions contre la pollution

Le développement constant des villes et de l'industrie à grande échelle peut avoir pour conséquence une pollution accrue. Cette séance portera sur les techniques de rayonnement utilisées avec succès pour traiter des polluants industriels persistants et détecter des voies de contamination. Plusieurs pays ont mis à profit ces techniques dans le cadre de l'évaluation et de l'étude de processus environnementaux ou du traitement des eaux usées et des gaz de combustion. Des exemples de ces applications prometteuses seront présentés à l'occasion du forum.

## Tracer la voie

Les radiotraceurs et les jauges nucléoniques sont importants pour accroître la productivité et assurer la qualité et la fiabilité des processus industriels et des systèmes de production. Lors de cette séance, des experts parleront de leurs expériences et des avantages de ces technologies, notamment dans les industries pétrochimique et minière.

## Renforcer la sûreté et la qualité

Les techniques d'essais non destructifs (END), notamment celles qui font appel au nucléaire, sont largement appliquées dans le secteur manufacturier et le génie civil. Les END sont utilisés en tant qu'outil de contrôle de la qualité pour vérifier l'intégrité de composants, machines, bâtiments et structures, afin de garantir leur sûreté et leur qualité. Le forum sera l'occasion de découvrir

des exemples d'applications des techniques d'END et des meilleures pratiques mises en œuvre pour former un personnel qualifié à la conduite efficace de procédures d'END. Ces tests peuvent souvent revêtir une importance capitale, notamment lorsqu'il s'agit de rechercher rapidement les fissures et les défauts cachés que peuvent présenter des ouvrages de génie civil.

## Rayons d'espoir

La technologie des rayonnements offre de nombreuses perspectives à l'industrie. La dernière séance du forum portera sur les nouvelles avancées enregistrées dans des domaines tels que la nano-ingénierie, la santé, l'alimentation et l'agriculture, ainsi que la protection et la conservation du patrimoine culturel.

Le forum se conclura par un débat libre sur la valeur ajoutée des techniques nucléaires en matière de développement. Les pays auront l'occasion de faire part de leurs expériences et d'en savoir plus sur les services proposés par l'AIEA dans ce domaine.

Pour obtenir de plus amples informations et consulter la dernière version du programme du forum, rendez-vous sur <https://www.iaea.org/about/policy/gc/gc59/scientific-forum>. Cette page sera régulièrement actualisée tout au long de la manifestation et des résumés des séances y seront publiés.



(Photos : AIEA)



# Pour de meilleurs soins de santé, le Ghana stérilise le matériel médical à l'aide de la technologie des rayonnements

Par Aabha Dixit

C'est un fait connu, les infections engendrées par des instruments mal stérilisés compromettent gravement la sûreté des soins de santé, et elles ont des conséquences souvent mortelles pour les patients. La technologie des rayonnements joue un rôle majeur dans de nombreux pays en contribuant à rendre le matériel médical plus sûr. « Grâce à des applications nucléaires telles que l'exposition de matériel médical à des rayons gamma, le Ghana est mieux à même de protéger sa population contre les maladies évitables qui peuvent être provoquées par des instruments mal stérilisés, comme des seringues », a expliqué Abraham Adu-Gyamfi, responsable du Centre de technologie des rayonnements de l'Institut de recherche en biotechnologie et en agriculture nucléaire à Accra, qui dépend de la Commission ghanéenne de l'énergie atomique.

« Notre pays a pris conscience de l'intérêt énorme du radiotraitement et des immenses possibilités de développement qu'offre cette technologie dans plusieurs domaines, dont le secteur médical, où elle peut contribuer à améliorer les soins de santé. C'est la raison pour laquelle le Ghana tenait à y avoir accès », a continué M. Adu-Gyamfi. Selon lui, la technologie des rayonnements a permis d'améliorer l'hygiène du matériel médical, en particulier celle des instruments en matière plastique, qui peuvent être difficilement stérilisés à la chaleur ou à l'aide d'autres méthodes conventionnelles (voir l'encadré).

## Une courte exposition permet d'éliminer virus et bactéries

« Avec l'aide de l'AIEA, le Ghana s'emploie à renforcer ses systèmes de soins de santé en garantissant la sûreté du matériel

**Abraham Adu-Gyamfi (au centre) accompagné de techniciens de l'installation d'irradiation gamma.**

(Photo : Centre ghanéen de technologie des rayonnements)



médical grâce à la science et à la technologie nucléaires modernes », a expliqué Sunil Sabharwal, spécialiste du radiotraitement à l'AIEA. « Les rayons gamma jouent un rôle crucial en permettant un approvisionnement rapide, efficace et économique en fournitures médicales conditionnées et stérilisées. »

« La stérilisation réduit le nombre de micro-organismes tels que les champignons, les bactéries, les virus et d'autres pathogènes potentiels. Il est aujourd'hui reconnu que les rayonnements à haute énergie sont le moyen le plus efficace de stériliser le matériel médical », a continué M. Sabharwal. « Il s'agit d'un "procédé propre et efficace", car il ne laisse pas de résidus sur les instruments à l'issue du traitement. Les rayons gamma irradient uniformément les instruments jusque dans les moindres recoins, même quand ceux-ci sont contenus dans un emballage scellé, et la hausse de température est minime », a-t-il expliqué. Les instruments peuvent être utilisés immédiatement après la stérilisation, sans qu'il soit nécessaire de les soumettre à une période de quarantaine.

## Améliorer l'hygiène du matériel médical à l'aide de rayonnements gamma

Grâce à un irradiateur au cobalt 60 ( $^{60}\text{Co}$ ), la Commission ghanéenne de l'énergie atomique (GAEC) fournit des services d'irradiation à 15 hôpitaux et cliniques, ainsi qu'à quatre entreprises. Le matériel qu'elle irradie comprend notamment :

- des fournitures médicales à usage unique (gaze, seringues, ouate, fil de suture, aiguilles de seringues, etc.) ;
- des cathéters et des systèmes et liquides de perfusion ;
- des vêtements chirurgicaux (blouses, bonnets, chaussures et couvre-chaussures) et des draps ;
- des greffons de tissus ;
- du matériel hospitalier réutilisable, notamment des instruments chirurgicaux (scalpels, ciseaux, récipients, etc.) ; et
- des articles pharmaceutiques.

## Soutien aux pays voisins

« L'installation d'irradiation gamma de la GAEC fournit aussi une assistance à d'autres pays d'Afrique de l'Ouest, tels que le Nigeria, la Côte d'Ivoire ou le Niger, en leur proposant des services d'irradiation et des formations sur ce thème. Ces pays coopèrent également dans plusieurs autres domaines, notamment pour ce qui est de la sensibilisation du grand public et des fonctionnaires à cette technologie », a expliqué M. Adu-Gyamfi.

« Ces activités ont contribué à corriger les idées fausses sur l'utilisation de la technologie nucléaire au sens large », a-t-il ajouté.

### Connaître les besoins d'un pays

Le Ghana bénéficie depuis 1970 de projets d'assistance de l'AIEA. Le pays a reçu sa première et unique installation d'irradiation au  $^{60}\text{Co}$  en 1994. Des experts de l'AIEA ont formé des scientifiques, des opérateurs et des techniciens ghanéens à l'utilisation sûre et sécurisée de l'irradiateur au  $^{60}\text{Co}$ . « Pour être en mesure d'assurer le transfert des connaissances et la formation en ce qui concerne l'application des normes internationales qui régissent la validation, le contrôle du processus et les contrôles de routine en matière de radiostérilisation des produits de santé, il convient de suivre un plan mûrement réfléchi et spécialement adapté aux besoins particuliers d'un pays », a expliqué M. Sabharwal.

« L'installation d'irradiation a été modernisée en 2010 et de nouvelles prescriptions de contrôle de la qualité y ont été appliquées en 2012. Ces mesures ont permis de garantir le respect de toutes les normes et procédures internationales de sûreté dans le cadre de l'exploitation de cette installation », a ajouté M. Adu-Gyamfi.

Pour améliorer la condition de l'ensemble des patients du pays, M. Adu-Gyamfi et ses collègues travaillent avec des hôpitaux répartis dans tout le Ghana. « Avec l'aide de l'AIEA, des capacités techniques sont créées à l'échelle nationale, mais il nous



faut transmettre les connaissances et les compétences acquises afin d'aider la population au niveau local. »

« Notre pays a pris conscience de l'intérêt énorme du radiotraitement et des immenses possibilités de développement qu'offre cette technologie dans plusieurs domaines, dont le secteur médical, où elle peut contribuer à améliorer les soins de santé. C'est la raison pour laquelle le Ghana tenait à y avoir accès. »

— Abraham Adu-Gyamfi, Responsable du Centre de technologie des rayonnements, Institut de recherche en biotechnologie et en agriculture nucléaire, Commission ghanéenne de l'énergie atomique

### Matériel stérilisé prêt à être distribué.

(Photo : Centre ghanéen de technologie des rayonnements)

## LA SCIENCE

### La stérilisation de matériel médical au moyen de rayonnements gamma

Les rayonnements gamma, ou rayons gamma, sont des rayonnements électromagnétiques d'une fréquence extrêmement élevée. Ils sont un moyen de lutte très efficace contre la prolifération de micro-organismes tels que les virus et les bactéries. Ces rayonnements endommagent les molécules d'ADN des cellules de ces micro-organismes et empêchent ainsi la division de ces cellules.

Les ondes électromagnétiques à haute énergie traversent facilement les emballages plastiques scellés d'équipements médicaux

tels que les seringues, les systèmes de perfusion et autres articles de ce type.

Les rayons gamma sont émis par un radio-isotope, qui est généralement du cobalt 60 ( $^{60}\text{Co}$ ) ou du césium 137 ( $^{137}\text{Cs}$ ). Tant que les équipements irradiés sont emballés dans un sac plastique scellé, ils restent exempts de virus et de bactéries. Le processus d'irradiation gamma n'engendre pas de résidus et ne charge pas les éléments traités en radioactivité.

# L'Égypte met au point des pansements hydrogels à l'aide de polymères irradiés pour soigner les blessures

Par Aabha Dixit

Les patients souffrant de brûlures, d'ulcères cutanés et d'escarres peuvent être soulagés par des gels uniques – les hydrogels – qui jouent un rôle de plus en plus important dans le processus de guérison de telles blessures. La technologie nucléaire a été cruciale pour la mise au point d'hydrogels, qui occupent une place importante dans le traitement des blessures dans de nombreux pays à revenu faible et intermédiaire, y compris l'Égypte.

Ces pansements exceptionnels sont rapidement devenus incontournables pour "refroidir" les blessures et atténuer les effets douloureux des brûlures et d'autres lésions. Les blessures de patients diabétiques guérissent beaucoup plus vite et mieux qu'avec des pansements traditionnels, a dit El-Sayed A. Hegazy, professeur émérite et ancien président du Centre national pour la recherche et la technologie des rayonnements (NCRRT) en Égypte, qui est le seul établissement du pays à mettre au point des hydrogels.



**Un pansement hydrogel peut être utilisé pour soigner des blessures.**

(Photo : S. Henriques/AIEA)

« L'hydrogel a un effet très agréable et soulage la douleur. Il réduit le degré des dommages tissulaires causés par la blessure et est transparent, ce qui permet au médecin de surveiller la plaie. Il diminue de moitié le temps de guérison, mais son effet le plus important est qu'il favorise le renouvellement de l'épiderme, sans laisser de cicatrices », a-t-il expliqué.

## Les hydrogels issus des techniques nucléaires sont sans danger pour l'homme

La science sur laquelle repose la fabrication d'hydrogels est complexe mais bien comprise, a dit Ghada Adel Mahmoud, professeur en radiochimie au Centre. « Les hydrogels sont constitués de chaînes de polymères 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. Ainsi, les polymères se lient pour former un gel robuste, souple et transparent.

« Les hydrogels utilisés comme pansements contiennent de 70 à 95 % d'eau et sont biocompatibles », a ajouté Agnes Safrany, radiochimiste à l'AIEA. « 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 ».

« Les hydrogels jouent également un rôle fondamental pour administrer des médicaments au bon endroit dans le corps humain sans causer de dommages ailleurs. Ils sont utilisés pour éviter la prise de médicaments par voie orale soit pour protéger la muqueuse gastrique contre des médicaments irritants soit pour protéger les médicaments labiles en milieu acide contre l'acidité de l'estomac. Des recherches sont actuellement menées dans ce domaine », a expliqué M. Mahmoud.

Les chercheurs envisagent également l'utilisation de nano-hydrogels dans le cadre de la chimiothérapie, car ils atteignent directement la tumeur par le système sanguin sans avoir d'impact sur le reste du corps, a dit Mme Safrany.

## Des applications nucléaires avancées au service du secteur de la santé

L'AIEA a aidé un certain nombre de pays, dans le cadre de projets sur mesure, à sensibiliser et à former des scientifiques et des techniciens à la mise au point d'hydrogels grâce aux techniques nucléaires. « L'Égypte bénéficie d'une telle assistance. Une unité de faisceaux d'électrons du NCRRT est actuellement modernisée pour répondre à la demande croissante de production d'hydrogels », a dit M. Hegazy.

Les techniques nucléaires utilisées pour créer des hydrogels existent depuis plus de 30 ans et leur production est simple et économique, a dit M. Mahmoud.



### Un pansement hydrogel est appliqué sur un patient.

(Photo : S. Henriques/AIEA)

L'AIEA a appuyé la création d'un laboratoire pour évaluer l'utilisation de polymères pour la mise au point d'hydrogels. Les recherches portent notamment sur les caractéristiques des polymères, comme leur résistance, leur capacité d'absorption, la quantité de médicament nécessaire et la diffusion de celui-ci lorsqu'il est administré sous forme d'hydrogel, ainsi que leur toxicité potentielle et leur stabilité à long terme.

Après les analyses effectuées en laboratoire, le NCRRT a demandé et obtenu une licence auprès du Ministère égyptien de la santé pour la préparation d'hydrogels sous forme de pansements et pour leur distribution », a ajouté M. Hegazy.

L'Égypte a également partagé les connaissances et les données d'expérience acquises grâce à l'AIEA avec d'autres pays de la région. Les hydrogels ont permis de

sauver la vie de nombreux patients souffrant de graves brûlures, et davantage de pays devraient les utiliser, a-t-il encore expliqué.

Le NCRRT dépend de l'Autorité égyptienne de l'énergie atomique, principal établissement du pays chargé de promouvoir sur le plan national les applications pacifiques de la science et de la technologie nucléaires dans quasiment tous les aspects de la vie humaine.

Grâce à l'assistance de l'AIEA, la mise au point par radiotraitement de produits comme la chitine (notamment le chitosane qui est obtenu à partir de la chitine et utilisé à des fins médicales, voir encadré page 11) à partir de biopolymères a sensiblement élargi le recours à des technologies nucléaires dans le secteur médical égyptien.

## Les nombreuses utilisations des pansements hydrogel

Les pansements hydrogel fabriqués à l'aide de la technologie des rayonnements présentent les avantages médicaux suivants :

- ils protègent efficacement contre les bactéries, et également contre la perte excessive de fluides corporels ;
- ils permettent d'approvisionner les blessures en oxygène ;
- ils sont souples et élastiques, mais robustes sur le plan mécanique ;
- ils adhèrent bien tant à la blessure qu'à la peau saine, mais sans y coller excessivement ;
- ils sont transparents, ce qui permet aux professionnels de la santé de voir la blessure ;
- ils permettent de soigner aisément la blessure avec des médicaments ;
- ils absorbent le liquide produit par l'organisme en réponse aux dommages tissulaires et aux toxines bactériennes ;
- ils n'entraînent pas de réactions allergiques ;
- ils atténuent la douleur et permettent une guérison optimale des blessures ; et
- ils sont stériles et faciles à utiliser.

(Source : [mitr.p.lodz.pl/biomat/old\\_site/dress.html](http://mitr.p.lodz.pl/biomat/old_site/dress.html))

# Viet Nam : Création de supercultures à partir de biopolymères irradiés

Par Sasha Henriques

En vue d'accroître le rendement de leurs cultures et d'éliminer les maladies, les agriculteurs vietnamiens nourrissent leurs plantes d'oligochitosan et d'oligoalginate, qui sont des substances fabriquées à partir de biopolymères irradiés.

Et cela fonctionne.

L'oligochitosan et l'oligoalginate sont extraits de la carapace de la crevette et de l'algue brune, respectivement. Comme d'autres biopolymères tels que l'amidon de sagou, l'amidon de manioc et l'huile de palme, ils sont exposés à des doses de rayonnements précises dans des environnements contrôlés, ce qui modifie leur structure moléculaire et leur confère des propriétés phytostimulantes. Les produits ainsi obtenus ne sont pas radioactifs ; ils sont biodégradables et non toxiques.

« L'oligochitosan, liquide jaune clair produit par l'Institut vietnamien de l'énergie atomique (Vinatom), a pratiquement supplanté les fongicides nocifs utilisés dans l'agriculture dans tout le pays », a dit Nguyen Quoc Hien, du Centre de recherche

et de développement pour la technologie des rayonnements, qui relève de Vinatom. « Il protège les plantes contre des infections fongicides et bactériennes, en éliminant les maladies. « Il endigue également la propagation du virus de la mosaïque du tabac, maladie qui touche bien plus de 350 espèces de plantes, et pas seulement le tabac. »

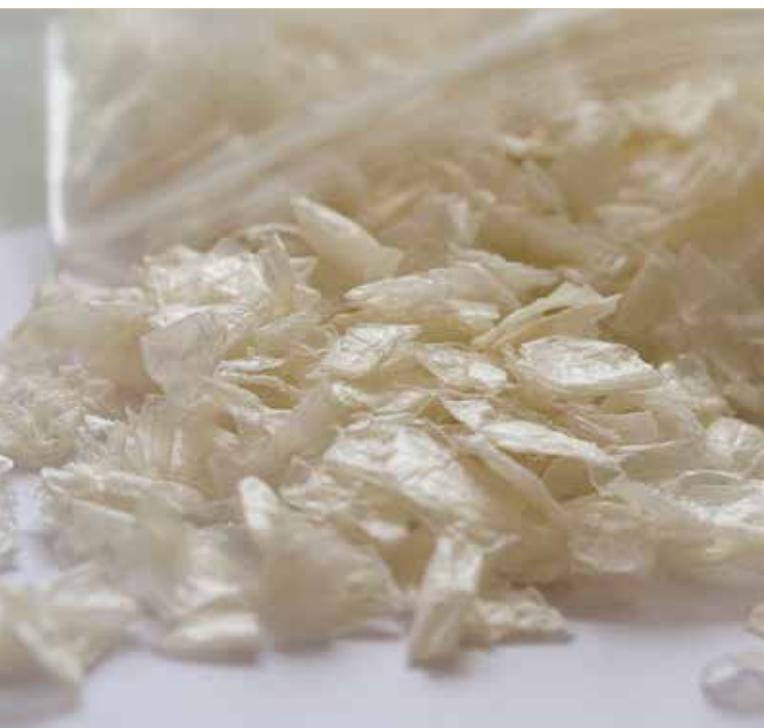
« Les plantes traitées à l'oligoalginate, qui a la même couleur brun que la mélasse, poussent plus vite et sont jusqu'à 56 % plus grandes que celles non traitées », a dit M. Hien. Une goutte d'oligochitosan liquide dissoute dans un litre d'eau peut servir à prévenir les maladies des plantes et accroître notablement le rythme auquel elles poussent.

L'utilisation généralisée de produits non toxiques comme l'oligochitosan, qui ne laisse aucun résidu nocif, est en fin de compte bénéfique pour les consommateurs et offre de plus grandes possibilités d'exportation pour les produits agricoles nationaux. L'oligochitosan permet même de prolonger la durée de conservation de fruits comme les mangues et les oranges, en préservant leur fermeté et leur attrait pour les consommateurs. L'oligochitosan et ses produits connexes, tels que l'or colloïdal et l'argent colloïdal, qui sont issus du même polymère de base, mais auquel des particules d'or et d'argent ont été ajoutées avant l'irradiation, ont d'autres utilisations. Ils peuvent être ajoutés à la nourriture des poissons, volailles et crevettes d'élevage afin d'améliorer leur système immunitaire, leurs chances de survie et leur propension à prendre du poids. Ils peuvent aussi servir à assainir l'eau des aquacultures et à tuer les bactéries en cas d'infection.

## Superabsorbants d'eau

L'amidon de manioc est un autre biopolymère utilisé pour créer des produits susceptibles d'améliorer la productivité agricole. La racine de manioc est le matériau de base utilisé pour produire des superabsorbants d'eau, capables d'emmagasiner une quantité incroyable d'humidité puis de la diffuser lentement aux racines des plantes autour. Les superabsorbants d'eau ressemblent beaucoup, par leur apparence et leur texture, à de grands cristaux de sucre, mais lorsqu'ils entrent en contact avec de l'eau (ou un engrais liquide) et qu'ils l'absorbent, ils gonflent : un grain peut devenir aussi grand que l'ongle du petit doigt.

Les superabsorbants d'eau ayant subi un radiotraitement sont particulièrement utiles pour l'agriculture dans les zones arides, où les précipitations sont faibles, ou celles qui connaissent fréquemment des périodes de sécheresse.



**Le chitosane (ci-dessus) est un polymère que l'on trouve dans la carapace de la crevette. Il est utilisé pour fabriquer des liquides de pulvérisation et des additifs en vue de prévenir et de guérir les maladies des plantes et de stimuler la croissance végétale.**

(Photo : S. Henriques/AIEA)

Disposé dans le sol près des racines des plantes, 1 kg de cristaux superabsorbants d'eau peut emmagasiner 200 litres d'eau de pluie et d'eau d'irrigation. La lente diffusion d'eau et/ou d'engrais aux plantes réduit les déchets, atténue la pollution des voies d'eau et permet aux agriculteurs de faire des économies. Après neuf mois, les cristaux se désintègrent, ne laissant aucun résidu ni aucun effet nocif sur le milieu environnant.

Au Viet Nam, des superabsorbants d'eau produits par Vinatone sont utilisés dans des plantations de caoutchouc et des potagers domestiques et ils sont également exportés en Australie, pour de grandes exploitations de cultures commerciales à forte valeur. Ces agriculteurs en utilisent de 30 à 60 kg par hectare.



**Nguyen Van Dong vend des superabsorbants d'eau dans sa chaîne de supermarchés au Viet Nam. Il utilise également ces superabsorbants d'eau pour réduire le temps consacré et la quantité d'eau nécessaire à son jardin situé sur le toit.** (Photo : S. Henriques/AIEA)

## LA SCIENCE

### Qu'est-ce qu'un biopolymère ?

Les biopolymères sont de grandes molécules constituées de longues chaînes de groupes d'atomes qui se répètent. On les trouve partout dans la nature : la cellulose dans les plantes et les arbres, l'amidon dans le pain, le maïs et les pommes de terres ; la carapace des crevettes, crabes et autres crustacés, et les algues, tous contiennent des polymères.

Ces biopolymères, et d'autres encore, sont des composants idéaux pour mettre au point de nouveaux matériaux car ils sont abondants, peu coûteux, biodégradables, disponibles localement et renouvelables. Ils ont aussi des propriétés remarquables. La chitine, par exemple, est naturellement résistante à l'eau et à la fois solide et souple.

Les produits fabriqués à partir de biopolymères sont utilisés en médecine, dans l'agriculture, pour la protection de l'environnement, dans les cosmétiques et pour diverses applications industrielles.

#### Avantages de l'irradiation des biopolymères

Le radiotraitement est utilisé pour briser des liaisons chimiques et en créer de nouvelles, ce qui permet de transformer des biopolymères au niveau moléculaire et de les réutiliser à des fins particulières.

Ce processus, au cours duquel des matériaux contenant des biopolymères sont exposés à des rayonnements ionisants, peut modifier les propriétés chimiques, physiques et biologiques du matériau sans aucun autre traitement chimique supplémentaire et sans le rendre lui-même radioactif.

Le radiotraitement a plusieurs avantages par rapport aux méthodes chimiques traditionnelles de conception et de fabrication de nouveaux matériaux et produits. Il est plus simple, plus rapide, plus précis et beaucoup plus propre car il modifie la structure moléculaire des matériaux sans avoir besoin de catalyseurs chimiques ou de conditions physiques extrêmes comme des températures élevées et des pressions immenses ; il n'a pas besoin de produits chimiques toxiques ni ne génère de fumées nocives, a expliqué Agnes Safrany, radiochimiste à l'AIEA.

L'AIEA travaille en collaboration avec des États Membres dans le monde entier pour promouvoir l'adoption, la fabrication et l'utilisation de polymères biodégradables non toxiques qui sont extraits de plantes et d'animaux.

# En Pologne, les centrales au charbon améliorent la qualité de l'air grâce aux faisceaux d'électrons

Par Nicole Jawerth

En réduisant la pollution atmosphérique, la technologie des rayonnements devrait jouer un rôle de plus en plus important en Pologne et dans d'autres pays pour satisfaire aux prescriptions réglementaires et protéger l'environnement.

Un projet appuyé par l'AIEA a aidé la Pologne à construire un accélérateur de faisceaux d'électrons à grande échelle pour le traitement des gaz de combustion produits par les centrales au charbon, ce qui a permis de réduire sensiblement les émissions de dioxyde de soufre, d'oxydes d'azote et d'hydrocarbures aromatiques polycycliques, qui menacent la santé humaine, nuisent à l'environnement et peuvent causer des pertes économiques. Les polluants acides rejetés dans l'air peuvent aussi dériver vers d'autres pays par l'intermédiaire des pluies acides.

Compte tenu des résultats obtenus grâce au traitement des gaz de combustion produits par les centrales polonaises, d'autres pays travaillent aujourd'hui avec l'AIEA pour tirer parti des données d'expérience réunies en Pologne et acquérir les compétences nécessaires pour adopter un tel outil de mise en valeur des électrons.

« La Pologne produit 90 % de son électricité grâce à la combustion de charbon. La pollution atmosphérique est donc un gros problème, et la Pologne doit se conformer aux réglementations en matière de lutte contre la pollution atmosphérique, » a dit Lech Sobolewski, ingénieur en chef chargé de la construction et de l'exploitation de l'installation d'épuration par faisceaux d'électrons, construite avec l'appui de l'AIEA, dans la centrale électrique de Pomorzany. « Cela est important car l'Union européenne va adopter des réglementations plus strictes en 2016. »

## Limites des émissions

En 1992, la Pologne et l'AIEA se sont associées pour mettre au point un projet modèle destiné à évaluer l'efficacité des accélérateurs de faisceaux d'électrons – des appareils permettant de produire un rayonnement d'électrons – pour épurer les gaz de combustion (voir encadré). En raison du succès de ce modèle, la Pologne, l'AIEA et ses partenaires ont construit en 2002 une centrale à grande échelle dont la capacité est 15 fois supérieure à celle de la centrale pilote. Cette installation de traitement par faisceaux d'électrons permet d'éliminer efficacement jusqu'à 95 % du dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>) et 70 % des oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>) présents dans les gaz de combustion, grâce à quoi la centrale au charbon respecte les limites imposées en matière d'émissions. Le sous-produit obtenu dans le cadre de ce processus est un engrais de haute qualité utilisé dans l'agriculture.

« Les accélérateurs de faisceaux d'électrons sont une technologie qui permet de traiter plusieurs polluants ; aucune autre technologie ne peut fournir des résultats similaires », a dit M. Sobolewski. Les technologies traditionnelles qui s'appuient sur divers processus chimiques et physiques présentent certes une efficacité similaire pour éliminer les polluants contenant du NO<sub>x</sub> et du SO<sub>2</sub>, mais elles nécessitent la construction de deux installations distinctes, consomment de très grandes quantités d'eau, utilisent un catalyseur toxique dopé par un métal et produisent une importante quantité de déchets devant être stockés et traités.

« Les technologies conventionnelles sont généralement plus coûteuses à installer et à exploiter, et elles exigent des méthodes spéciales pour stocker définitivement les déchets ou les utiliser à d'autres fins », a dit Andrzej Chmielewski, directeur général de l'Institut polonais de chimie et de technologie nucléaires. « Les accélérateurs de faisceaux d'électrons sont une technologie écologique qui a fait ses preuves. Toutefois, ce sont des dispositifs de grande taille et de puissance élevée, ce qui constitue un défi. C'est pourquoi nous devons continuer à nous efforcer de mettre au point des dispositifs plus fiables qui sont plus faciles à entretenir. L'AIEA peut jouer un rôle important dans leur mise au point grâce à l'appui scientifique et technique qu'elle fournit. »

## Une technologie lente à s'imposer, mais efficace

Le recours aux électrons pour traiter les gaz de combustion n'est pas un concept nouveau. Cette technologie a initialement été mise au point au Japon dans les années 1970, mais comme elle ne s'est imposée que lentement à l'échelle industrielle, un grand nombre d'anciennes centrales au charbon ont été dotées d'autres technologies d'épuration plus coûteuses. Toutefois, en dépit d'une progression qui a été initialement lente à l'échelle industrielle, plusieurs pays envisagent aujourd'hui activement cette technologie dont ils veulent tirer parti.

Les projets menés à titre pilote et à grande échelle industrielle en Pologne sont une source d'orientations et de connaissances dont d'autres pays s'inspirent grâce à des projets de recherche coordonnée, des projets de coopération technique, des publications et des visites scientifiques de l'AIEA. « À ce jour, plus de 30 boursiers ont suivi une formation et plus de 150 personnes ont participé à des visites scientifiques et des réunions techniques. Les données d'expériences acquises sont à présent mises à profit dans leurs propres centrales pour réduire les émissions et les rendre plus respectueuses de l'environnement », a dit M. Sobolewski.



Des centrales pilotes ont été construites en Bulgarie, en Chine, en Corée du Sud, en Malaisie, en Russie et en Turquie. Le Brésil, le Chili, les Philippines et l'Ukraine envisagent également des transferts de technologie, tandis qu'en Arabie saoudite et au Danemark, des systèmes de combustion de pétrole lourd ont fait l'objet de tests préliminaires en laboratoire.

« L'introduction de cette nouvelle technologie a une incidence importante sur le secteur énergétique, à savoir sur la manière dont

des systèmes de surveillance et de contrôle de la pollution sont mis au point, » a dit M. Sobolewski. « Les faisceaux d'électrons s'étant montrés efficaces dans des conditions industrielles difficiles, des pays comme la Corée du Sud et la Russie mettent aujourd'hui au point de nouveaux accélérateurs de plus grande taille », a-t-il ajouté. « Le recours aux accélérateurs est une tendance qui fait son chemin de par le monde. »

## LA SCIENCE

### Épuration à sec par faisceaux d'électrons

Avant que les gaz de combustion produits par les centrales électriques – ne s'échappent par la cheminée d'une centrale, ils passent par un processus de « nettoyage » appelé épuration à sec par faisceaux d'électrons.

Au cours de ce processus, les gaz sont refroidis par aspersion d'eau à une température variant entre 70 °C et 90 °C, puis acheminés dans une chambre de réaction. Les gaz humides sont ensuite exposés à un rayonnement d'électrons de basse énergie provenant d'un accélérateur, qui fonctionne comme les tubes des anciens téléviseurs.

De l'ammoniac est ensuite ajouté pour neutraliser le SO<sub>2</sub> et les NO<sub>x</sub>, après quoi ils changent de forme chimique et se transforment en aérosols solides. Une machine à rendement élevé recueille et filtre ces particules collantes, et les transforme en engrais de haute qualité. Les gaz « nettoyés » restants s'échappent par la cheminée.

Malgré l'utilisation de rayonnements pour traiter les gaz, ni les gaz épurés ni les engrais produits ne contiennent de rayonnements résiduels.

# L'industrie chinoise fait appel à la technologie des rayonnements pour assainir l'eau

Par Nicole Jawerth

La Chine envisage d'ajouter la technologie des rayonnements à son éventail de méthodes de traitement des eaux usées pour promouvoir plus encore une gestion des déchets industriels respectueuse de l'environnement.

« Le traitement des eaux issues de nos industries étant très important, c'est ce que nous faisons depuis longtemps. À présent, nous voulons améliorer nos méthodes d'assainissement des eaux », a dit Jianlong Wang, vice-président de l'Institut de technologie de l'énergie nucléaire et des énergies nouvelles (INET) de l'Université de Tsinghua, à Beijing. « Nous recevons beaucoup d'appui de l'AIEA pour utiliser les technologies faisant appel aux faisceaux d'électrons en vue de nous aider à éliminer divers polluants présents dans l'eau, que les autres méthodes ne parviennent pas à faire seules. »

Les accélérateurs de faisceaux d'électrons sont des appareils qui produisent des rayonnements d'électrons pouvant par exemple servir à assainir les eaux usées (voir encadré). Les eaux usées sont des eaux qui ont été altérées par leur utilisation dans le cadre d'activités humaines, notamment à des fins industrielles ou agricoles.



**C'est dans l'enceinte de balayage du faisceau d'électrons que les eaux usées peuvent être irradiées par des faisceaux d'électrons à haute énergie.**

(Photo : INET/Dasheng)

Les eaux usées industrielles peuvent contenir diverses substances chimiques, dont des pesticides, des matières organiques, des produits chimiques et des colorants, qui peuvent être nocives et, dans certains cas, très toxiques. Avant de pouvoir être évacuées ou réutilisées, ces eaux doivent être traitées afin de réduire au minimum la quantité de contaminants et d'éviter que ceux-ci ne se propagent dans les eaux de surface et les eaux souterraines.

Pendant des décennies, la Chine a assaini ses eaux usées à l'aide de méthodes traditionnelles qui s'appuient sur des processus physiques et des substances chimiques. Afin de respecter ses normes plus strictes en matière d'économies d'énergie et de protection de l'environnement, la Chine cherche aujourd'hui à renforcer l'utilisation de la technologie des rayonnements pour éliminer des eaux résiduelles les contaminants nocifs comme le cyanure, les huiles et les graisses, et les colorants, a dit Shijun He, professeur associé à l'INET.

« Les méthodes traditionnelles sont complexes, guère efficaces et coûteuses si utilisées isolément », a ajouté Sunil Sabharwal, spécialiste du radiotraitement à l'AIEA.

« Les accélérateurs de faisceaux d'électrons peuvent être une méthode très efficace et rentable pour traiter les eaux usées », a ajouté M. Sabharwal. « Les divers types de contaminants exigent des méthodes de traitement différentes, et la combinaison de la technologie des rayonnements avec d'autres méthodes permet d'éliminer toute une gamme de contaminants et de décomposer plus efficacement les matières organiques, tout en n'occasionnant aucune pollution secondaire et en ne nécessitant que très peu de produits chimiques supplémentaires voire aucun », a-t-il expliqué.

## Collaboration intersectorielle

« La Chine adopte une approche pluridimensionnelle en matière de traitement des eaux usées et collabore avec divers partenaires des secteurs public et privé, dont l'AIEA, pour développer des compétences dans l'utilisation de la technologie des rayonnements en combinaison avec d'autres méthodes », a dit Kenneth Hsiao, président de la société Jiangsu Dasheng Electron Accelerator Device à Jiangsu (Chine).

« En association avec l'AIEA, la Chine s'efforce de trouver des moyens d'utiliser l'irradiation par faisceaux d'électrons pour cibler certains types de polluants et démontrer l'efficacité de ces outils faisant appel aux rayonnements en vue d'une future utilisation à plus grande échelle », a expliqué Massoud Malek, responsable de la gestion de programmes à l'AIEA, qui travaille avec la Chine.

« L'AIEA a aidé la Chine à développer l'irradiation par faisceaux d'électrons pour traiter les eaux usées, éliminer certains contaminants et veiller à ce que les ressources en eau restent propres et sûres », a-t-il ajouté.



**L'eau est évacuée une fois qu'elle a été traitée contre les contaminants nocifs et les couleurs et les odeurs indésirables.**

(Photo : INET/Dasheng)

## D'un pays à l'autre

« L'eau ne connaissant pas de frontières, une coopération internationale et des méthodes de traitement efficaces au niveau national sont essentielles », a dit M. Malek. « Si des eaux usées contaminées atteignent une source d'eau superficielle ou souterraine, les contaminants peuvent se propager par le partage des ressources en eau et par la pluie. Il est donc important d'assainir l'eau avant de l'évacuer. »

Des études telles que les projets de l'AIEA menés en Chine peuvent contribuer à promouvoir encore la recherche-développement en ce qui concerne ces technologies et montrer à d'autres pays comment ils peuvent les adopter et les utiliser. En l'occurrence, elles fournissent

aux industries les moyens appropriés pour remédier aux effets résultant de leurs activités et renforcer davantage les mesures de protection de l'environnement.

« À ce jour, rares sont les projets de ce type, c'est pourquoi le projet mené en Chine avec l'AIEA peut être une source de savoir-faire et de connaissances pour encourager d'autres pays et d'autres industries à adopter ces outils pour leurs propres besoins, » a dit M. Malek. « À mesure qu'un nombre croissant d'industries améliorent leurs méthodes de traitement, les eaux usées deviendront plus propres, ce qui nous aidera à protéger l'environnement, les populations et les ressources en eau à l'échelle mondiale. »

## LA SCIENCE

### Traiter les eaux usées à l'aide d'accélérateurs de faisceaux d'électrons

Les faisceaux d'électrons de haute énergie produits par des accélérateurs peuvent servir à traiter les eaux usées en réduisant au minimum les contaminants nocifs et en éliminant les couleurs et les odeurs indésirables.

Pendant le processus de traitement, l'eau est acheminée par une chambre où elle est exposée à des rayonnements ionisants

provenant de l'accélérateur, provoquant des réactions chimiques et la décomposition des contaminants en fragments plus faciles à gérer et à traiter. Ensuite, le traitement de l'eau par biodégradation entraîne une nouvelle décomposition de ces éléments avant évacuation ou réutilisation de l'eau traitée. Cette méthode ne rend pas l'eau radioactive et ne laisse pas de rayonnements résiduels.

# Les traceurs au service de la cartographie des gisements de pétrole

Par Joe Rollwagen



Une plateforme pétrolière typique en mer du Nord où des radiotraceurs peuvent être utilisés pour cartographier les fonds marins.

(Photo : M. Bengtsson/wikimedia.org/CC BY 3.0)

Depuis la découverte de pétrole au large des côtes norvégiennes dans les années 1970, l'économie du pays a connu une croissance vertigineuse. Pour préserver l'efficacité de sa production à long terme, la Norvège fait largement appel aux techniques nucléaires.

Des traceurs nucléaires sont utilisés pour optimiser la production de pétrole en cartographiant les gisements sous-marins. D'après Tor Bjørnstad, scientifique principal de l'Institut des technologies de l'énergie, à Kjeller (Norvège), avant d'utiliser des traceurs nucléaires, les scientifiques s'appuyaient sur la cartographie sismique, qui fournissait des données moins précises.

« Un traceur indique exactement ce qu'il voit, ce qui optimise le processus », a-t-il dit.

Aujourd'hui, l'Institut a recours à la technologie des traceurs dans plus de 30 puits différents et prélève des échantillons dans des centaines d'autres.

## Comprendre les gisements de pétrole

De petites quantités de matières radioactives sont mélangées à l'eau ou au gaz qui sont injectés dans les puits de pétrole – environ 5 ml pour les traceurs à l'eau. Des échantillons de sol sont ensuite prélevés dans les puits d'une zone déterminée, et si le traceur est présent dans plusieurs échantillons, cela veut dire que les puits sont liés et puisent dans le même réservoir de pétrole (voir encadré). Les puits dans lesquels aucun radiotraceur n'est trouvé sont séparés par des failles dans les fonds marins. Il est essentiel de comprendre l'étendue des différents gisements de pétrole pour déterminer les méthodes d'extraction les plus économiques.

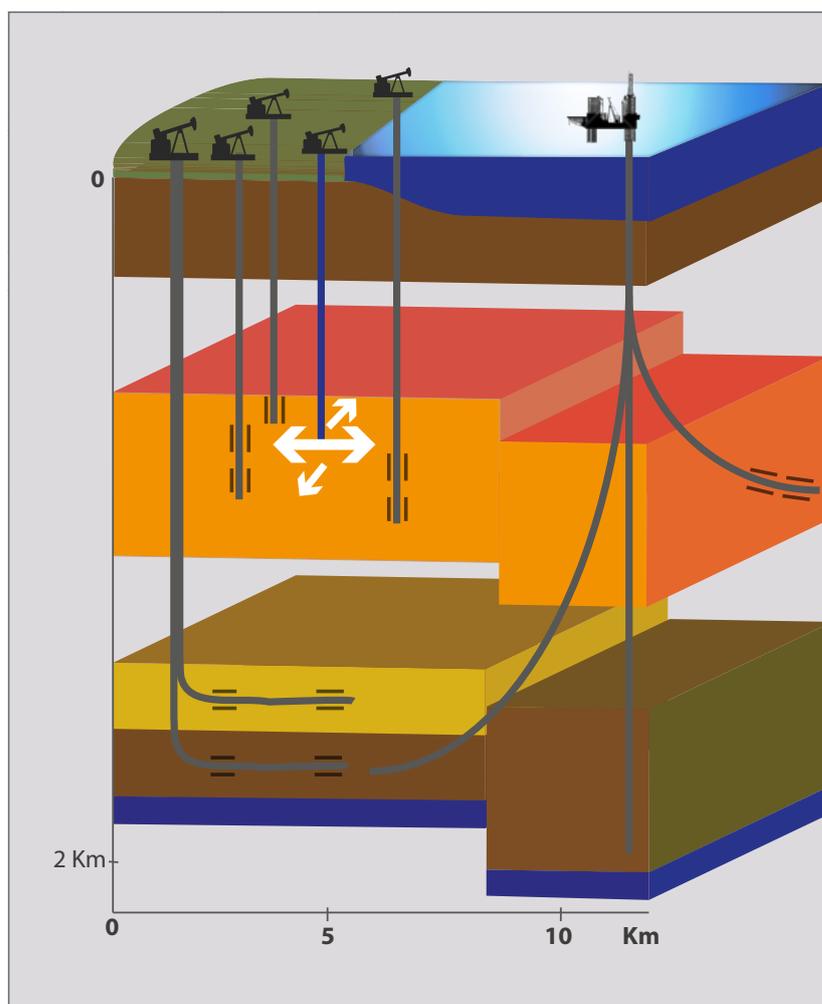
La construction d'un puits coûte plus de 500 millions de couronnes norvégiennes (soit plus de 62,5 millions de dollars É.-U.). C'est pourquoi le recours à la technologie des traceurs, qui est précise et a un impact minimal sur l'environnement, présente un avantage énorme, a expliqué M. Bjørnstad.

## Réduire au minimum l'impact sur l'environnement

Le respect des réglementations et des normes de sûreté nationales, ainsi que des normes environnementales internationales est un objectif constant de l'Institut des technologies de l'énergie, a dit M. Bjørnstad. Compte tenu de l'immensité des océans par rapport à l'infime quantité de matières radioactives utilisées dans les traceurs, le risque pour l'environnement naturel est négligeable.

L'Institut a aidé de nombreux nouveaux producteurs de pétrole à utiliser cette technologie. L'AIEA, indépendamment ou en association avec l'Institut, a également facilité la mise en commun de la technologie. L'AIEA et l'Institut aident d'autres pays à obtenir le matériel nécessaire pour utiliser cette technologie et organisent également des cours, des réunions et des projets de recherche coordonnée qui offrent des possibilités d'apprentissage aux États Membres.

Au Viet Nam, par exemple, l'AIEA a aidé à renforcer les compétences locales nécessaires pour utiliser la technologie des traceurs aux fins de la prospection pétrolière. « Avant que ces projets soient menés [en collaboration avec l'AIEA], la technologie des traceurs pour les gisements de pétrole n'était pas disponible au Viet Nam. Les sociétés pétrolières devaient faire appel aux services d'autres pays », a dit Quang Nguyen Huu, directeur du Centre pour les applications des techniques nucléaires dans l'industrie.



### Fonctionnement de la méthode d'injection des traceurs pour la communication inter-puits

(Source : Application of Radiotracer Techniques for Interwell Studies, AIEA, 2012)

## LA SCIENCE

### Essais de traçage inter-puits

Les traceurs peuvent être utilisés dans pratiquement toutes les étapes de la mise en valeur des gisements de pétrole. La technologie de traçage inter-puits est un important outil d'ingénierie des réservoirs pour la récupération du pétrole.

Elle est aussi utilisée pour les réservoirs géothermiques afin de mieux comprendre leur géologie et d'optimiser les programmes de production et de réinjection. Le principal objectif des essais de traçage inter-puits dans les réservoirs pétroliers et géothermiques est de surveiller la qualité et la quantité des liens établis par les fluides injectés entre les puits d'injection et les puits de production, ainsi que de

surveiller les similitudes et les différences entre les puits et les réservoirs.

Le traceur est ajouté aux fluides injectés dans les puits d'injection et observé dans les puits de production situés autour (voir graphique ci-dessus). La manière dont le traceur réagit permet de déterminer la structure des flux afin de mieux comprendre le réservoir. Ces informations sont importantes pour optimiser la récupération de pétrole. La plupart des informations fournies par les traceurs ne peuvent pas être obtenues par d'autres techniques.

# Maintenir l'accessibilité des ports : le Brésil économise « des millions » en frais de dragage grâce aux techniques nucléaires

Par Rodolfo Quevenco

Le Brésil, qui possède plus de 8 500 kilomètres de côtes, effectue 90 % de ses importations et exportations totales via ses ports.

Nombre de grands ports du pays ont été construits il y a plus de 100 ans. Pour maintenir les voies de navigation ouvertes et permettre à ces ports d'accueillir de plus grands navires au tonnage encore plus important, il est nécessaire d'effectuer un dragage constant, souvent pour un coût élevé.

Au fil des ans, le recours à des techniques nucléaires pour étudier l'accumulation des sédiments et leur transport dans les grands ports (voir l'encadré) a permis au Brésil d'économiser des millions de dollars en frais de dragage, d'après Jefferson Vianna Bandeira, chercheur principal au Département de l'environnement de la Commission nationale de l'énergie nucléaire du Brésil.



**Les techniques de radiotracage peuvent aider à faire des économies sur les opérations de dragage destinées à maintenir les ports suffisamment profonds pour accueillir des navires plus grands au tonnage plus important.**

(Photo : A. Hardacre/Flickr.com/CC BY 2.0).

Avec l'aide de l'AIEA, M. Bandeira et une équipe de scientifiques utilisent des radiotraceurs pour cartographier les mouvements des sédiments qui touchent les grands ports du Brésil depuis les années 1960.

Dans un premier temps, ils se sont essentiellement concentrés sur le devenir des sédiments dragués dans la zone portuaire de Santos après leur immersion. Le port de Santos, près de Sao Paulo, est un des ports les plus grands et les plus fréquentés d'Amérique latine, qui dessert actuellement plusieurs états brésiliens et par lequel transitent 28 % des échanges de commerce extérieur du pays.

L'endroit où les sédiments sont immergés a été modifié plusieurs fois afin de réduire le plus possible le retour de ceux-ci dans la baie. Grâce à l'utilisation de radiotraceurs, les ingénieurs du port ont pu trouver des endroits optimaux situés le plus près possible du port.

« Les études effectuées dans les années 1970 dans la baie de Sepetiba (État de Rio de Janeiro), en vue de la construction du port d'Ilha da Madeira, nous ont probablement dispensé d'avoir à draguer plus de 100 000 kilomètres de distance », a déclaré M. Bandeira. « Il en a résulté des millions de dollars d'économie pour les autorités portuaires brésiliennes », a-t-il ajouté.

## Du port à la mer : modélisation du mouvement des sédiments et de l'eau grâce à des radiotraceurs

Des années de recherche sur les radiotraceurs au port de Santos et dans d'autres ports brésiliens ont aussi permis à l'équipe de M. Bandeira d'acquérir de vastes connaissances sur la dynamique des cycles de transport et de mouvement des sédiments dans des conditions changeantes. Pour effectuer leur recherche, les scientifiques ont pu utiliser des modèles mathématiques et des données précises sur les cycles de transport et de flux des sédiments, qui sont continuellement utilisées dans les activités d'ingénierie des côtes.

« Nous sommes en quelque sorte des chirurgiens et des spécialistes », a déclaré M. Bandeira pour décrire son travail et celui de ses collègues. « De la même manière que les traceurs médicaux permettent au chirurgien du cœur d'étudier les principaux vaisseaux sanguins ou au radiologue d'examiner les fonctions des organes du métabolisme humain,

les radiotraceurs nous permettent d'évaluer le comportement hydrodynamique des sédiments et de déterminer les principales voies de leur mouvement dans les zones côtières. »

Les connaissances approfondies ainsi acquises ont été utilement mises en application à de nombreuses reprises. Par exemple, dans les études sur les sédiments menées sur le littoral de ce qui est maintenant le port de Suape, le marquage avec des radiotraceurs a permis de mettre en évidence de faibles taux de transport des sédiments de fond en été comme en hiver. Cette information a été essentielle pour déterminer l'emplacement idéal du port et a permis de savoir qu'il ne serait pas nécessaire d'effectuer un dragage de maintenance important au large



des côtes. Parallèlement à ces études, des mesures océanographiques à proximité des côtes (vagues, vent, courants et marée) ont été faites. Suape est aujourd'hui le plus important complexe portuaire du Nord-Est du Brésil.

### Lutter contre l'érosion côtière

Les littoraux et les fonds marins sont des zones dynamiques, puisqu'on y observe des périodes d'érosion, de transport, de sédimentation et de consolidation. Parmi les principales causes d'érosion des plages figurent les tempêtes, mais les activités humaines, comme le dragage des embouchures et la construction de digues et de jetées, modifient aussi l'écoulement naturel des sédiments.

« Les techniques nucléaires sont les méthodes les plus utiles et les plus efficaces pour évaluer l'érosion et le mouvement du limon

et des sédiments dans les zones côtières », a indiqué Patrick Brisset, spécialiste de la technologie industrielle à l'AIEA. « De nombreux pays y ont déjà recours en ingénierie côtière et beaucoup d'autres commencent à utiliser cette technologie à l'appui de leurs plans de développement. »

Nombre de scientifiques brésiliens ont reçu une formation grâce au programme de coopération technique de l'AIEA, a expliqué M. Brisset. De plus, de nombreux experts de l'AIEA se sont rendus au Brésil pour y mener des études sur le transport des sédiments et dispenser une formation à divers techniciens. Des experts brésiliens apportent maintenant à leur tour une aide et un appui à d'autres États Membres, dont le Venezuela, l'Uruguay et le Niger, dans le cadre de projets faisant appel aux applications des radiotraceurs pour l'étude des sédiments.

**Comprendre la dynamique du mouvement des sédiments peut aider à déterminer le meilleur emplacement des sites d'immersion des sédiments de dragage, afin d'éviter de polluer les plages avoisinantes.**

(Photo : R. Quevenco/AIEA)

## LA SCIENCE

### Les avantages des radiotraceurs pour l'étude du transport des sédiments

La majeure partie de la population mondiale vit sur les côtes ou dans des régions côtières. Par conséquent, il est d'une importance capitale pour de nombreux pays de comprendre la dynamique du transport des sédiments dans ces zones.

Les techniques de radiotraçage constituent un moyen efficace pour étudier la dynamique des sédiments, car elles peuvent fournir, en temps réel et de façon exacte, des informations sur le devenir des sédiments ainsi que sur le comment et le pourquoi de leur déplacement. Une procédure habituelle consiste à introduire un radio-isotope (par exemple, de l'or 198 ou de l'iridium 192) en petites quantités dans les échantillons de sédiments à étudier, à immerger ceux-ci à des points d'échantillonnage clés et à

suivre leur mouvement à l'aide de détecteurs à scintillation tirés par des bateaux.

Les techniques de traçage servent aussi souvent à valider les résultats obtenus avec d'autres techniques utilisées pour étudier le comportement des sédiments (par exemple, des études bathymétriques ou des modèles mathématiques et physiques). On analyse aussi de plus en plus les expériences utilisant des radiotraceurs en faisant appel à la dynamique des fluides numérique, branche de la mécanique des fluides qui se fonde sur l'analyse numérique et des algorithmes pour étudier l'écoulement des fluides. On devrait ainsi obtenir des modèles plus fiables et pouvoir mieux valider les résultats.

# Les rayons X dans l'industrie : les essais non destructifs contribuent à la compétitivité de la Malaisie

Par Brian Plonsky

**Des techniciens évaluent la qualité d'une conduite de PETRONAS grâce à des méthodes d'END.**

(Photo : A. Nassir Ibrahim/Centre Madani de formation aux END)



D'après les industriels, les essais mettant en jeu la technologie nucléaire dans l'industrie ont contribué à la compétitivité du secteur manufacturier de la Malaisie. Le pays a aussi exploité un marché de niche à l'exportation en Asie du Sud-Est, offrant aux industriels de pays voisins des services d'essais non destructifs (END) utilisant des appareils nucléaires.

« Le fait de pouvoir bénéficier de services d'END de bonne qualité à un prix très raisonnable nous permet de consacrer davantage de ressources à l'inspection et d'améliorer ainsi notre compétitivité et le niveau de sûreté de notre installation », a déclaré Zamaludin Ali, ingénieur principal chez PETRONAS. « Avant la création d'une industrie des END locale et d'un système d'accréditation des services d'essais, PETRONAS et d'autres compagnies malaisiennes dépendaient de fournisseurs de services d'END étrangers ou de compagnies locales qui employaient des opérateurs certifiés à l'étranger », a-t-il expliqué.

Les END faisant appel aux techniques nucléaires utilisent un rayonnement ionisant pour tester la qualité de produits finis. Ils sont fondés sur le même principe que les rayons X utilisés dans les hôpitaux (voir l'encadré). Les oléoducs, les chaudières, les cuves sous pression, les équipements aéronautiques et les navires font partie des produits dont on évalue la qualité à l'aide de cette technique.

L'AIEA a joué un rôle important en aidant la Malaisie à créer des centres de formation accrédités et un système de certification, ainsi qu'à promouvoir les techniques d'END, comme l'inspection par radiographie. Grâce à ce partenariat de longue date, plus de 50 compagnies malaisiennes, employant plus de 2 000 techniciens, ont été certifiées et peuvent effectuer des END.

## Créer des compétences locales

Tout a commencé dans les années 1980, lorsqu'Abdul Nassir Ibrahim, alors jeune fonctionnaire à l'Agence nucléaire malaisienne, a suivi une série de cours de l'AIEA sur les END. Avec l'appui de son gouvernement et l'aide de l'AIEA, il a contribué à la création de la Commission nationale de certification des END, dont il était membre avant de s'en retirer l'an dernier. Nassir Ibrahim dirige actuellement le Centre Madani de formation aux END, près de Kuala Lumpur.

« Les compagnies du secteur pétrolier et gazier concentrent environ 70 % des activités d'inspection au moyen d'END en Malaisie », a indiqué Abdul Nassir Ibrahim. Parmi les clients importants qui bénéficient de cette technologie figurent aussi les centrales électriques, les chantiers navals et l'industrie de l'aviation. D'après Abdul Nassir Ibrahim, le coût des inspections effectuées par les services locaux représente environ un cinquième du coût de celles faites par des inspecteurs de la technologie venant de l'étranger.

« L'AIEA a contribué à la mise en place des compétences locales au cours des premières années en fournissant des équipements et en organisant des cours et des visites scientifiques », a expliqué Patrick Brisset, spécialiste de la technologie industrielle à l'AIEA. Il a ajouté que compte tenu des avancées et du succès en Malaisie, l'AIEA faisait régulièrement appel à des experts malaisiens pour qu'ils l'aident à créer des centres de formation et de certification dans d'autres pays.

Le système de formation de la Malaisie et son système national de certification des END sont devenus une référence pour de nombreux pays : Abdul Nassir Ibrahim et ses collègues organisent régulièrement des cours au Soudan, pays qui a adopté le système de certification malaisien. De futurs inspecteurs des Philippines, du Yémen et de Sri Lanka viennent aussi en Malaisie pour être formés et certifiés.

« En raison de son succès, le programme de formation aux END de la Malaisie peut servir de modèle et inspirer d'autres pays



qui souhaitent mettre en place leur propre programme de certification des END », a déclaré Patrick Brisset. D'après lui, l'exemple malaisien montre qu'il est possible de mettre en place un système d'essais internationalement reconnu à partir de zéro et que l'AIEA peut aider à le faire.

## LA SCIENCE

### Les essais non destructifs

La restauration d'œuvres d'art à Londres, la fabrication de munitions en Argentine, la construction d'un pont à New York et l'industrie pétrolière et gazière en Malaisie peuvent sembler avoir bien peu en commun. Pourtant, toutes utilisent une méthode de contrôle de la qualité faisant appel aux rayonnements : les essais non destructifs (END).

La technique d'END la plus importante sur le marché et la plus largement utilisée en Malaisie est le contrôle par radiographie, qui est basé sur l'absorption différentielle des rayons X et des rayons gamma émis respectivement par une machine à rayons X et une source radiographique.

Le contrôle par radiographie utilise un rayonnement ionisant (qui peut être le rayonnement X ou le rayonnement gamma) pour générer une image de la structure interne de matériaux solides et durs, comme l'acier ou le béton. Le rayonnement traverse le matériau et impressionne un film placé de l'autre côté de celui-ci. Suivant la quantité

de rayonnement qui traverse l'objet étudié, le film est plus ou moins noirci : les matériaux présentant des zones de plus faible épaisseur ou constitués de matière de faible densité laissent davantage passer les rayonnements. En fonction de l'intensité de l'image obtenue, on peut déterminer l'épaisseur ou la composition d'un matériau, et les différences d'intensité de l'image révèlent les éventuels défauts ou discontinuités du matériau.

Le contrôle par radiographie, qui ne provoque aucun dommage et ne laisse aucun résidu radioactif, joue un rôle essentiel dans la production et la maintenance de matériaux et de structures. Il sert à évaluer et à améliorer la qualité, assurant ainsi la sûreté. Il est utilisé notamment pour la détection et l'évaluation des défauts, la mesure dimensionnelle, la détection des fuites, la caractérisation structurale, la mesure de la contrainte et de la réponse à celle-ci, l'analyse de l'intégrité structurale et la classification des matériaux, par exemple en fonction de leur conductivité ou de leur composition chimique.

# Une activité minière profitable grâce à la technologie des rayonnements

Par Rodolfo Quevenco

Lors de la période de prospérité des années 2000, l'industrie minière mondiale s'est développée rapidement, nombre de pays et de compagnies ayant investi d'importantes sommes d'argent dans des activités destinées à accroître la production et à satisfaire les besoins d'une économie mondiale en forte croissance, très consommatrice de ressources naturelles. Aujourd'hui, alors que le prix des matières premières est moins élevé, que la qualité du minerai diminue et que les coûts de production sont plus importants, il faut rationaliser les opérations et améliorer la productivité pour maintenir les mines en activité. Les radiotraceurs et les jauges nucléoniques font partie des techniques qui permettent d'accroître l'efficacité de l'industrie.



Vue aérienne de la mine d'opale de Coober Pedy, en Australie.

(Photo : G. Sharp/Flickr.com/CC BY 2.0)

Le monde de l'industrie est bien conscient de la situation. « L'industrie minière fait actuellement face à un grand défi car il y a moins d'eau, l'énergie est plus chère et la teneur réelle du minerai est de plus en plus faible », a déclaré Nick Cutmore, Directeur de programmes de recherche à l'Organisation de la recherche scientifique et industrielle du Commonwealth (CSIRO), agence scientifique de premier plan en Australie et pionnière dans la recherche-développement sur l'application des techniques nucléaires dans l'industrie minière. « Par conséquent, nous avons besoin d'une nouvelle technologie qui nous permette d'extraire les matières de façon plus sélective et de ne pas gaspiller d'eau et d'énergie dans l'extraction d'un minerai à très faible teneur. »

« La conclusion est facile à tirer : il est important de garder les bonnes roches et de se débarrasser des mauvaises avant de gaspiller de l'énergie et de l'eau pour les transformer », a-t-il indiqué.

Dans l'activité minière, il est important d'analyser le minerai en vrac (1 000 à 10 000 tonnes par heure) lors de son transport sur un tapis convoyeur. Pour effectuer une analyse rapide et précise, les ingénieurs ont besoin d'une méthode qui leur permette d'examiner le minerai pour déterminer les éléments qu'il contient et les quantifier. D'après Nick Cutmore, les techniques nucléaires sont « sans aucun doute les plus adéquates » pour ce type d'analyse.

« Les neutrons et les rayons X ou gamma de haute énergie sont très pénétrants et permettent d'analyser assez précisément de grandes quantités de matière, ce qui n'est pas possible avec d'autres méthodes », a-t-il déclaré.

« Les radiotraceurs et les jauges nucléoniques sont utilisés dans l'industrie minière pour améliorer la qualité des produits, optimiser les processus et économiser de l'énergie et des matières. Aujourd'hui, de nombreuses compagnies minières reconnaissent aussi les grands avantages que présente la technologie utilisant les radio-isotopes sur le plan socio-économique », a déclaré Patrick Brisset, spécialiste de la technologie industrielle à l'AIEA.

## Une véritable « loupe nucléaire »

Le CSIRO est pionnier dans le développement d'applications des techniques nucléaires, notamment pour le forage et le tri de minerai ainsi que la détection et l'analyse en temps réel. Il a mis au point un nouvel analyseur qui combine la fluorescence et la diffraction des rayons X pour permettre la caractérisation rapide des minerais dont les teneurs sont de l'ordre des parties par milliard. La technique permet de détecter des quantités aussi petites que cent parties par milliard pour les éléments clés et de mesurer ainsi des métaux précieux comme l'or, l'argent, l'uranium et les éléments du groupe platine, ainsi que d'importants contaminants comme le plomb, le mercure et l'arsenic, à des teneurs de quelques grammes par tonne ou moins.

De plus, le CSIRO a récemment mis au point une méthode d'analyse par activation de gamma qui utilise des rayons X à haute énergie pour mesurer des échantillons de minerai dans un système automatisé sans requérir de préparation laborieuse d'échantillons ou l'accès à un réacteur nucléaire pour effectuer une analyse par activation neutronique. Cette technique est particulièrement efficace pour mesurer la teneur en or de divers types d'échantillons (voir l'encadré).

## Coopération avec l'AIEA : mise en commun de la technologie

Le CSIRO participe à un projet de recherche coordonné de l'AIEA sur la mise au point de méthodes radiométriques pour la prospection et l'extraction de minéraux et de métaux, dans le cadre duquel il partage sa technologie avec des scientifiques du monde entier.

La coopération de l'Australie avec l'AIEA concernant l'utilisation des neutrons, des rayons X et des radiotraceurs remonte en fait aux années 1980, époque à laquelle cette technologie était nouvelle.

L'Australie, qui compte parmi les cinq premiers pays miniers du monde, est le numéro un dans plusieurs domaines des applications nucléaires dans l'industrie. Nombre de ces applications sont des technologies relativement éprouvées, dont l'utilisation et la commercialisation sont un succès.

« La participation de l'Australie au projet de recherche coordonné de l'AIEA s'est principalement concentrée sur le transfert de technologie à d'autres pays », a déclaré Nick Cutmore.

Les projets de recherche coordonnée de l'AIEA donnent l'occasion de réunir des chercheurs d'établissements de pays développés et de pays en développement afin qu'ils collaborent sur un sujet de recherche donné et échangent et transfèrent des connaissances en matière d'utilisation de techniques nucléaires pour diverses applications pacifiques.



**Matrice de minerai d'or.**

(Photo : J. St. John/Flickr.com/CC BY 2.0)

« Nous voulons faire connaître à d'autres pays les techniques que nous avons mises au point et les connaissances que nous avons acquises, afin qu'ils soient pleinement informés des options dont dispose l'industrie du minerai dans ces domaines. Nous souhaitons voir ces techniques bénéficier à d'autres États Membres qui pourraient les utiliser, à moyen ou à long terme, afin de mieux exploiter les ressources en vue de la prospérité économique de leurs pays », a encore indiqué Nick Cutmore.

## LA SCIENCE

### Extraire chaque gramme d'or

La production mondiale d'or se chiffre en milliards de dollars par an et le prix élevé de ce minerai est dû en grande partie au coût élevé de son extraction. L'extraction commerciale de l'or se fait selon une proportion de l'ordre du gramme par tonne et peu de techniques d'analyse permettent de mesurer avec précision les métaux présents à des teneurs aussi faibles.

L'analyse par activation de gamma fait appel à des rayons X de forte puissance pour exciter certains éléments dans le minerai et activer ainsi toute trace d'or dans l'échantillon.

Cette technique peut être appliquée à l'or sous n'importe quelle forme chimique ou physique et utilisée pour mesurer la teneur en or de solides, de boues ou de liquides. La combinaison des derniers développements concernant les sources de rayons X de forte puissance et les détecteurs de rayonnements avec la modélisation informatique avancée permet à l'analyseur mis au point par le CSIRO de détecter des quantités d'or environ dix fois plus petites que celles pouvant être détectées grâce à d'autres techniques. Cet appareil est aussi capable de détecter de très faibles teneurs dans des échantillons extrêmement petits.

# Le « vieil homme fragile » : le Mexique et la France sauvent une sculpture vieille de 2 000 ans grâce à des techniques nucléaires

Par Aabha Dixit

Lors de fouilles effectuées en 2001 à Becán, site maya situé dans l'État de Campeche, dans le Sud-Est du Mexique, une sculpture en bois vieille de 2 000 ans a été exhumée, ce qui a fait beaucoup de bruit au sein de la communauté archéologique mexicaine. Cette statue était profondément enfouie sous une tombe écroulée. Il s'agissait du premier objet en bois jamais trouvé que l'on ait pu dater de manière fiable du début de la période classique maya, mais il s'abîmait peu à peu et de nombreux fragments s'en détachaient.

Grâce à la technologie nucléaire et à l'aide de la France, des scientifiques lui ont fait retrouver sa splendeur passée. Elle est maintenant exposée au musée de Campeche, à côté d'autres objets d'art maya.

« Un examen attentif a permis d'établir que la statue représentait un homme. Plusieurs parties du corps sculpté étaient très érodées et des fragments étaient manquants. Les chevilles et les pieds du personnage sculpté étaient particulièrement fragiles, car très fins et donc extrêmement faibles pour soutenir l'ensemble de la masse », a indiqué Alejandra Alonso-Olvera, restauratrice principale au Département de la conservation de l'Institut national d'anthropologie et d'histoire, qui a participé au projet de restauration.

« Malgré son état instable dû à l'exhumation, au vieillissement, à l'abrasion mécanique et à la dégradation biologique, les experts de l'équipe franco-mexicaine avaient l'espoir que des techniques nucléaires avancées puissent sauver le vieil homme fragile de 2 000 ans », a-t-elle ajouté.

## Le « vieil homme fragile »



Avant



Après

À gauche : Le « vieil homme fragile » avant l'irradiation aux rayons gamma.

À droite : La préservation a sauvé la sculpture ancienne.

(Photos : Quoc-Khôi Tran, ARC-Nucléart)

Un traitement par irradiation aux rayons gamma a été effectué à l'installation d'irradiation de l'Institut national de recherche nucléaire, près de Mexico. L'utilisation de cette technologie de polymérisation par rayonnement gamma sur des objets archéologiques en bois (voir l'encadré) a été une première dans le domaine de la conservation au Mexique. L'application de ce processus de conservation à cette découverte sans pareille a permis au Mexique d'acquérir les compétences nécessaires relatives à cette technologie de pointe, qui permet de conserver des objets anciens présentant un intérêt historique.

## À quoi ressemblait-il ?

Alejandra Alonso-Olvera a expliqué que l'ancienne statue maya avait été sculptée dans un seul bloc de bois de 21,5 cm de haut et 17,5 cm de large à la base. La sculpture ne comportait pas de détails faciaux et les parties inférieures des bras étaient absentes. Un examen plus minutieux a révélé que plusieurs parties du corps présentaient des illustrations et que la base avait été peinte.

Les Mexicains ont contacté l'Atelier régional de conservation Nucléart (ARC-Nucléart) à Grenoble (France), qui dépend du Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives, afin d'obtenir une aide scientifique et technique pour restaurer la sculpture ancienne. L'ARC-Nucléart est réputé pour ses activités de pointe dans la conservation et la protection des objets anciens utilisant des processus d'irradiation aux rayons gamma.

« Cela a été pour les deux instituts une occasion exceptionnelle de mener des travaux de recherche en collaboration », a déclaré Quoc-Khôi Tran, expert confirmé dans le domaine de l'irradiation aux rayons gamma à l'ARC-Nucléart, qui a formé les experts mexicains aux méthodes de conservation et de restauration utilisant des processus d'irradiation aux rayons gamma.

Dans un premier temps, dans le cadre de recherches en laboratoire, des observations microscopiques ont été effectuées

uniquement sur la base de l'objet fragile. « Il était trop risqué de toucher la partie principale sculptée en raison de sa fragilité », a expliqué Alejandra Alonso-Olvera. Cette étude était nécessaire pour déterminer le type de bois, la couleur, l'étendue des dommages dus à des organismes biologiques ainsi que la teneur en humidité.

### Lutter contre les champignons

Les recherches ont permis d'établir que le bois utilisé était un bois dur tropical, originaire de la péninsule du Yucatán : le ziricote. Il s'agit d'un bois naturellement résistant aux champignons et aux attaques d'autres micro-organismes détruisant le bois. Cependant, Alejandra Alonso-Olvera a expliqué que lors des travaux de recherche, la présence d'hyphes, forme de champignons qui se développe dans les cellules du bois, avait été observée.

Les archéologues ont décidé de soumettre la figurine en bois à un traitement de polymérisation par rayonnement gamma afin de tuer les champignons et de la protéger de toute autre détérioration. Cette méthode a permis de stabiliser le bois grâce à l'utilisation d'un consolidant qui durcit sous l'effet d'un rayonnement, et aussi de restaurer la couleur.

Le traitement d'irradiation à rayons gamma émis par des sources de cobalt 60 a été appliqué à des doses relativement faibles afin de maintenir la température du bois sous contrôle (à environ 40–50 °C) lors du processus de polymérisation. Quoc-Khôi Tran a expliqué que la dose de rayons gamma devait toujours être soigneusement contrôlée pour garantir une bonne consolidation du bois.



**Préparation de la structure destinée à soutenir la sculpture maya pendant l'imprégnation de résine. De gauche à droite : l'équipe technique mexicaine, Alejandra Alonso-Olvera et Quoc-Khôi Tran.**

(Photos : Quoc-Khôi Tran, ARC-Nucléart)

La collaboration étroite entre les spécialistes mexicains et français a été primordiale pour assurer le succès de ce projet, a dit Alejandra Alonso-Olvera.

En collaboration avec l'ARC-Nucléart, l'AIEA aide les États Membres à utiliser la technologie de l'irradiation pour préserver les objets présentant un intérêt historique. De plus, un certain nombre de cours de l'AIEA sont organisés pour mieux faire connaître les applications des sciences et des techniques nucléaires et créer des capacités dans le domaine de la préservation par irradiation afin d'aider à sauver des objets archéologiques particuliers qui permettent de mieux comprendre l'histoire d'un pays.

## LA SCIENCE

### Conservation d'objets en bois dégradés grâce au traitement de polymérisation par rayonnement gamma

L'utilisation de la polymérisation par rayonnement gamma pour consolider des objets en bois dégradés repose sur le principe suivant : lorsqu'elles sont exposées à des rayonnements, certaines résines liquides (comme des résines polyester ou acryliques insaturées) peuvent être polymérisées in situ et former des polymères solides dans les pores du bois, ce qui permet de renforcer la structure de ce matériau.

Tout d'abord, par un nettoyage complet de la surface, on enlève toutes les particules solides qui couvrent l'objet à l'aide de brosses douces. On diffuse ensuite régulièrement une résine polymérisable liquide dans la structure du bois,

suivant un processus sous vide et sous pression appelé « imprégnation sous pression ».

Ce processus consiste à remplir les pores du bois avec une matière qui, une fois polymérisée in situ par rayonnement gamma, renforce la structure du bois sans causer de contraction ni de rupture. Les objets en bois consolidés sont beaucoup moins sensibles aux variations du taux d'humidité que ceux en bois non traité. Après l'irradiation, on utilise d'autres procédés de restauration, comme le collage, la reconstruction et le colmatage des lacunes, pour restaurer l'objet.

# Les nanoparticules : petites par la taille, grandes par l'impact

## Les rayonnements ionisants comme outil de nano-ingénierie

Par Sasha Henriques

Plus d'une dizaine d'États Membres de l'AIEA utilisent actuellement les rayonnements ionisants pour produire des nanoparticules destinées à une utilisation dans l'agriculture, la médecine, les cosmétiques et des applications industrielles, alors que d'autres cherchent le moyen de créer leurs propres produits et processus. Sur la photo ci-dessous, Wanvimol Pasanphan, professeur adjoint au Centre de radiotraitement pour la modification des polymères et la nanotechnologie, de l'Université Kasetsart (Thaïlande), explique les notions de base sur les nanoparticules et parle des extraordinaires possibilités qu'elles offrent.

### Quelle est la taille d'une nanoparticule ?

Les nanoparticules sont des structures artificielles extrêmement petites que l'on mesure en nanomètres, c'est-à-dire en milliardièmes de mètre. Concrètement, un nanomètre est 100 000 fois plus petit que le diamètre d'un cheveu. À l'échelle nanométrique, les choses ne sont pas visibles à l'œil nu, alors



Wanvimol Pasanphan explique la structure moléculaire des nanoparticules à des étudiants au Centre de radiotraitement pour la modification des polymères et la nanotechnologie, Université Kasetsart (Thaïlande), où elle est professeur adjoint.

(Photo : T. Piroonpan)

les chercheurs doivent utiliser des microscopes très puissants. Les nanoparticules et les nanostructures ne sont pas complètement nouvelles ; c'est la capacité des êtres humains à travailler, mesurer et manipuler à l'échelle nanométrique qui l'est.

### À quoi servent les nanoparticules et comment sont-elles fabriquées ?

Les nanoparticules peuvent être utilisées dans l'agriculture, en médecine, dans les cosmétiques et dans l'industrie. Grâce à leur taille nanométrique, elles offrent d'excellentes possibilités en matière de stockage, de transport, de pénétration et de distribution, permettant de véhiculer et de libérer des médicaments, des engrais, des composés bioactifs, etc., à des endroits précis d'un organisme ou d'une structure. Les nanoparticules peuvent être constituées de composés inorganiques et de polymères naturels et synthétiques. En fonction de leur mode d'utilisation, elles peuvent être synthétisées sous différentes formes. Par exemple, les nanoparticules polymères de type cœur-couronne sont composées de trois éléments : une enveloppe externe (polymère qui confère leur stabilité aux composés chimiques constituant l'enveloppe interne), une enveloppe interne (qui peut être constituée de molécules résistant à l'eau) et le noyau central, qui contient des agents antimicrobiens ou des médicaments anticancéreux (voir figure 1). Les nanoparticules qui ont une telle structure peuvent être utilisées dans l'enrobage des fruits afin d'empêcher la prolifération de champignons comme *Sphaceloma ampelinum*, moisissure rouge foncé qui se développe souvent sur le raisin.

### Quelles applications cette technologie peut-elle avoir en médecine ?

Les nanoparticules peuvent être conçues de telle sorte qu'elles ne libèrent leur contenu qu'à un certain moment (ou pendant une certaine période) et à un endroit donné. Par exemple, des chercheurs travaillent actuellement sur des nanoparticules qui, lorsqu'elles sont couplées à des radiopharmaceutiques (ou synthétisées à partir de radiopharmaceutiques), se dirigent exclusivement vers les cellules cancéreuses, dans lesquelles elles peuvent pénétrer pour libérer un médicament. Douze États Membres (Argentine, Brésil, Égypte, États-Unis, Iran, Italie, Malaisie, Mexique, Pakistan, Pologne, Singapour et Thaïlande) participent à un projet de recherche coordonné de l'AIEA visant à utiliser des nanoparticules pour mettre au point des médicaments ciblés pour le traitement du cancer. Ces nanopharmaceutiques seraient capables non seulement de pénétrer dans les cellules cancéreuses plus facilement que les autres types de pharmaceutiques, mais aussi de rester plus longtemps dans la masse tumorale que les autres médicaments. Si le projet aboutit, il pourrait révolutionner le traitement du cancer en réduisant le risque que des cellules saines soient endommagées par des médicaments censés détruire les cellules cancéreuses. Ces nanoparticules peuvent avoir une structure semblable à celle décrite plus haut ou être complètement

## La nanoparticule

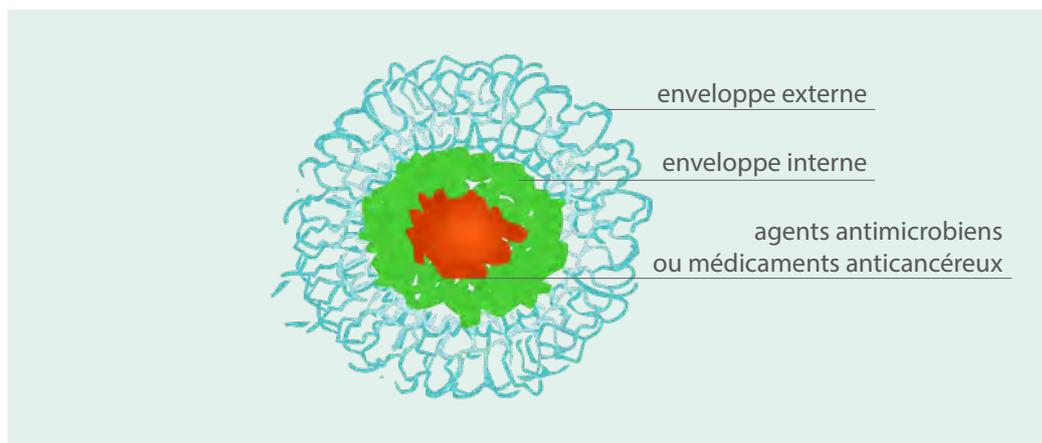


Fig. 1 : Les nanoparticules polymères de type cœur-couronne sont composées de trois éléments : une enveloppe externe (polymère qui confère leur stabilité aux composés chimiques constituant l'enveloppe interne), une enveloppe interne (qui peut être constituée de molécules résistant à l'eau) et le noyau central, qui contient des agents antimicrobiens ou des médicaments anticancéreux.

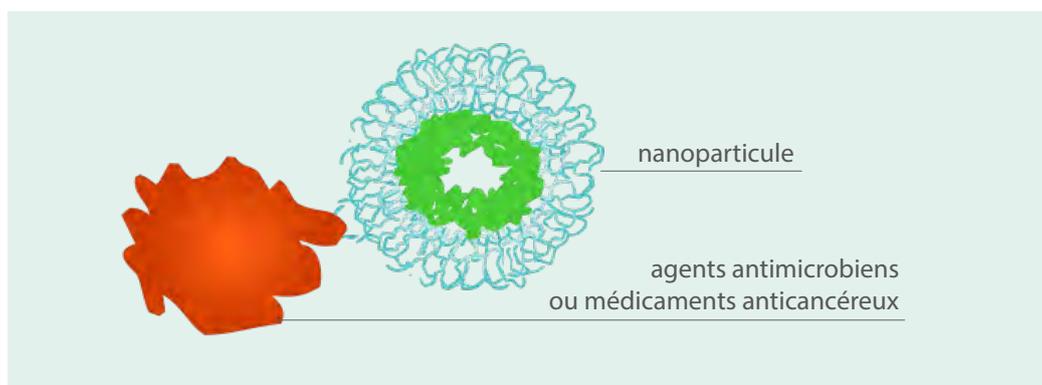


Fig. 2 : Dans cette nanoparticule polymère de type cœur-couronne, les agents antimicrobiens ou les médicaments anticancéreux sont situés à l'extérieur de l'enveloppe externe et de l'enveloppe interne.

différentes. Certains chercheurs utilisent, par exemple, des nanoparticules qui ressemblent plus à celle représentée sur la figure 2.

### Quel rapport y a-t-il entre les rayonnements et les nanoparticules ?

Les rayonnements ionisants, lorsqu'ils sont utilisés par des professionnels dans un environnement hautement contrôlé, sont un outil rapide et efficace qui permet de modifier et/ou de combiner les éléments de matière qui constitueront des nanoparticules. Le processus est propre et s'effectue à basse température. La préparation et la stérilisation d'un produit composé de nanoparticules peuvent parfois se faire en une seule étape. Il est important de préciser que les nanoparticules ainsi créées ne sont pas radioactives.

*(Pour en savoir plus sur l'interaction des polymères naturels avec les rayonnements ionisants, voir l'encadré à la page 11).*

### Comment l'AIEA participe-t-elle ?

L'AIEA favorise l'application du radiotraitement à des polymères naturels comme ceux utilisés pour créer des nanoparticules, notamment en aidant les États Membres à acquérir et à développer des compétences dans l'utilisation du radiotraitement à des fins médicales, industrielles et commerciales. Depuis 30 ans, elle dispense aux pays intéressés une formation (ateliers, visites d'experts, bourses) dans ce domaine et organise des projets de recherche en collaboration avec plusieurs pays pour déterminer les limites de la technologie des rayonnements en ce qui concerne la manipulation des polymères et des nanoparticules.



(Photos : AIEA)



(Photo : B. Kucinski/Flickr/CC BY 2.0)





# PROCHAINEMENT EN 2017

## **Première Conférence internationale sur les applications de la science et de la technologie des rayonnements**

Siège de l'AIEA | Vienne (Autriche) | 24-28 avril 2017

De plus amples renseignements seront disponibles à l'adresse :  
[www-pub.iaea.org/iaeameetings](http://www-pub.iaea.org/iaeameetings)

# Applications de la science et de la technologie des rayonnements