

IAEA BULLETIN

AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE

La publication phare de l'AIEA | Décembre 2023 | www.iaea.org/fr/bulletin

LES RÉACTEURS DE RECHERCHE

Les réacteurs de recherche au service de la production d'isotopes médicaux et de radiopharmaceutiques ou comment les neutrons sauvent des vies, p. 6

Les réseaux de réacteurs de recherche optimisent leurs activités face à une demande croissante, p. 14

Maintenir en activité les réacteurs de recherche vieillissants dans le monde, p. 16



Le Bulletin de l'AIEA

est produit par

le Bureau de l'information

et de la communication (OPIC)

Agence internationale de l'énergie atomique

Centre international de Vienne

B.P. 100, 1400 Vienne (Autriche)

Téléphone : (43-1) 2600-0

iaebulletin@iaea.org

Direction de la rédaction : Joanne Liou

Conception et production : Ritu Kenn

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

www.iaea.org/fr/bulletin

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

Couverture :

L. Gauna Pereira/CNEA

Suivez-nous sur :



L'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) a pour mission d'aider à prévenir la prolifération des armes nucléaires et d'aider tous les pays – en particulier ceux 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 le seul organisme du système des Nations Unies spécialisé dans les technologies nucléaires. Ses laboratoires spécialisés uniques en leur genre aident à transférer des connaissances et des compétences à ses États Membres dans des domaines comme la santé humaine, l'alimentation, l'eau, l'industrie et l'environnement.

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

Les normes de sûreté de l'AIEA établissent les principes fondamentaux, les prescriptions et les recommandations qui permettent de garantir la sûreté nucléaire et sont l'expression d'un consensus international sur ce qui constitue un niveau élevé de sûreté pour la protection des personnes et de l'environnement contre les effets nocifs 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'inspection que les États Membres respectent l'engagement qu'ils ont pris, au titre du Traité sur la non-prolifération des armes nucléaires et d'autres accords de non-prolifération, de n'utiliser les matières et installations nucléaires qu'à des fins pacifiques.

Le travail de l'AIEA comporte de multiples facettes et fait intervenir un large éventail de partenaires aux niveaux national, régional et international. Les programmes et les budgets de l'AIEA 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, à New York, à Tokyo et à Toronto, et exploite des laboratoires scientifiques à Monaco, à Seibersdorf et à Vienne. En outre, l'AIEA apporte son appui et contribue financièrement au fonctionnement du Centre international Abdus Salam de physique théorique à Trieste (Italie).

Optimiser la polyvalence, la longévité et l'utilité des réacteurs de recherche

Par Rafael Mariano Grossi, Directeur général de l'AIEA

Les réacteurs de recherche facilitent les avancées scientifiques et technologiques. Indispensables à l'accomplissement de la mission de l'AIEA, qui consiste à promouvoir les utilisations pacifiques de la science et de la technologie nucléaires, ils servent également à la formation et à la recherche-développement. Les capacités uniques dont ils sont dotés nous sont particulièrement utiles pour approfondir nos connaissances en physique nucléaire, science des matériaux et médecine qui peuvent ainsi être mises au service de l'humanité, par exemple aux fins de la production de nouveaux radiopharmaceutiques.

On compte plus de 220 réacteurs de recherche en service dans 54 pays et 25 autres sont en projet ou en construction. Mais le parc mondial actuel vieillit : la majorité des réacteurs fonctionnent depuis déjà plus de 50 ans. Nous pouvons remédier à cette situation. L'AIEA aide les pays à élaborer et à mettre en œuvre des plans de rénovation et de modernisation pour que ces réacteurs puissent continuer d'opérer en toute sûreté et efficacité.

En parallèle, certains pays primo-accédants poursuivent la construction des installations de leur premier réacteur de recherche, qui peuvent poser les jalons de futurs programmes électronucléaires. Dans un domaine, celui du nucléaire, où la sûreté et la sécurité sont primordiales, les réacteurs de recherche ne font pas exception à la règle. L'AIEA est prête à aider les pays à assumer leurs responsabilités nationales pour garantir la sûreté, la sécurité et l'optimisation totale de leurs réacteurs de recherche, de la conception au déclassement, au moyen de projets de recherche coordonnée, de missions d'experts, d'examen par des pairs, des orientations qu'elle publie, d'outils de planification et de formations. Elle apporte actuellement son soutien à plus de 30 projets de coopération technique consacrés aux réacteurs de recherche, auxquels participent des pays du monde entier. Ces projets sont aussi

variés que les applications desdits réacteurs, allant de l'amélioration de la sûreté nucléaire à la création d'une infrastructure nucléaire pour le premier réacteur de recherche d'un pays, en passant par l'utilisation et la performance opérationnelle de ceux qui sont en service.

Le présent numéro du *Bulletin de l'AIEA* présente toute la gamme d'applications des réacteurs de recherche et montre à quel point ils sont importants pour notre vie et nos modes de subsistance. Des traitements médicaux à l'amélioration de matériaux et de combustibles de pointe, les réacteurs de recherche posent les fondements nécessaires au progrès scientifique et au développement socio-économique. À l'heure où les pays sont confrontés aux défis urgents du changement climatique et de la sécurité énergétique, ils permettent de mettre au point et à l'essai des solutions énergétiques innovantes faisant appel à la fission nucléaire et à l'énergie de fusion. Ils sont aussi utilisés régulièrement pour la recherche des sources de pollution atmosphérique, la gestion des sols, la production de radio-isotopes destinés à des traitements salvateurs et l'évaluation de l'intégrité structurelle des bâtiments.

Les réacteurs nucléaires de recherche, riches de ces nombreuses applications, sont indispensables. L'AIEA, déterminée à ce que chacun puisse profiter de leurs avantages, s'emploie à aider les pays à en tirer le meilleur parti.



(Photos : AIEA)



1 Optimiser la polyvalence, la longévité et l'utilité des réacteurs de recherche



4 Qu'est-ce qu'un réacteur de recherche ? Comment ces réacteurs contribuent-ils au développement durable ?



6 Les réacteurs de recherche au service de la production d'isotopes médicaux et de radiopharmaceutiques ou comment les neutrons sauvent des vies



8 Grâce aux progrès de l'imagerie neutronique, des perspectives s'offrent aux réacteurs de recherche de faible puissance



10 Le nouveau service d'examen par des pairs de l'AIEA aide les pays à maximiser la puissance et l'utilité des réacteurs de recherche



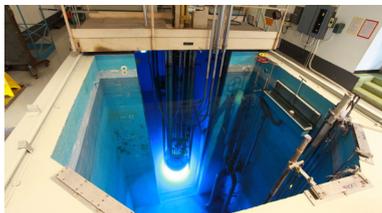
12 Aider les scientifiques africains à tirer parti du potentiel des réacteurs de recherche pour le développement socio-économique



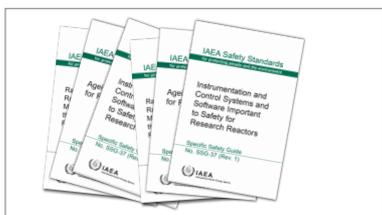
14 Les réseaux de réacteurs de recherche optimisent leurs activités face à une demande croissante



16 Maintenir en activité les réacteurs de recherche vieillissants dans le monde



20 Planification des ressources humaines pour les programmes de réacteurs de recherche



22 Rapide et efficace : la nouvelle méthode de mise à jour des guides de sûreté de l'AIEA



24 Protéger les réacteurs de recherche égyptiens des menaces contre la sécurité nucléaire



26 De nouveaux outils de l'AIEA aident les pays à prendre des décisions sur la gestion du combustible utilisé des réacteurs de recherche

DANS LE MONDE

28 L'expérience du Brésil : des réacteurs de recherche au service de la société

INFOS AIEA

30 Actualités de l'AIEA

32 Publications

Qu'est-ce qu'un réacteur de recherche ? Comment ces réacteurs contribuent-ils au développement durable ?

Par Joanne Liou et Xinwen Tang

Plus d'un tiers des réacteurs nucléaires en exploitation dans le monde sont utilisés à des fins de recherche, de formation et de production de radio-isotopes, plutôt qu'à des fins de production d'électricité. Contrairement aux réacteurs nucléaires de puissance conçus pour générer de l'électricité, les réacteurs nucléaires de recherche sont principalement utilisés pour la production de neutrons. Ces particules subatomiques non chargées sont utilisées pour diverses applications, telles que l'étude des matières à l'échelle de l'atome, la production de radio-isotopes à des fins médicales, l'industrie et la recherche, et l'imagerie de la structure interne des objets.

Environ **220** réacteurs de recherche sont en service dans **54** pays, et environ **25** sont en construction ou au stade de projets.

Environ 220 réacteurs de recherche sont en service dans 54 pays, et environ 25 sont en construction ou au stade de projets. Ils jouent un rôle clé dans l'évolution des technologies nucléaires, mais aussi en améliorant de nombreux aspects de la vie quotidienne, car ils aident les pays à atteindre les objectifs de développement durable. Il en existe de différentes tailles et de différents modèles. Souvent situés dans des établissements universitaires ou des instituts de recherche, ces réacteurs sont plus petits et fonctionnent à des températures moins élevées que les réacteurs de puissance traditionnels. La plupart des réacteurs de recherche ont une puissance thermique comprise entre 0 et 100 mégawatts thermiques (MWth), contre 3 000 MWth pour les grands réacteurs nucléaires. Par conséquent, la quantité de combustible nucléaire utilisée et le volume de déchets radioactifs produits sont nettement inférieurs.

Comment les réacteurs de recherche sont-ils utilisés ?

Les réacteurs de recherche sont conçus et utilisés pour la réalisation d'expériences, la formation théorique et pratique, ainsi que pour la production de radio-isotopes à des fins médicales et industrielles. Ils permettent d'étudier et de comprendre le comportement des matériaux, les interactions des neutrons et les effets des rayonnements dans un environnement contrôlé. En plus de faciliter la recherche dans de nombreuses disciplines, ils contribuent pour beaucoup aux progrès de la filière électronucléaire. En tant que bancs d'essai des technologies des réacteurs innovants, ils constituent un cadre

réaliste pour mener des expériences avec des matériaux et des combustibles nucléaires. Les réacteurs de recherche offrent en outre des possibilités de formation théorique et pratique au personnel des installations nucléaires, au personnel chargé de la radioprotection et à celui des organismes de réglementation, mais également aux étudiants et aux chercheurs.

Comment les réacteurs de recherche concourent-ils à la réalisation des objectifs de développement durable des Nations Unies ?

En 2015, les Nations Unies ont fixé 17 objectifs de développement durable (ODD) pour relever divers défis mondiaux, par exemple dans les domaines de la santé, de l'éducation ou de l'énergie. Les réacteurs de recherche contribuent à la réalisation de plusieurs de ces objectifs, notamment les suivants :



ODD 3 – Bonne santé et bien-être : Les réacteurs de recherche jouent un rôle essentiel dans l'imagerie médicale et le traitement des cancers. Les radio-isotopes qu'ils produisent sont utilisés dans 85 % des interventions de médecine nucléaire, ils contribuent grandement à la création de nouveaux radiopharmaceutiques, et aident des millions de personnes chaque année en permettant d'améliorer les méthodes de diagnostic et les traitements de divers cancers. Rayons d'espoir, l'initiative phare de l'AIEA contre le cancer, aide les pays à élargir l'accès à ces traitements salvateurs.



ODD 4 – Éducation de qualité et ODD 5 – Égalité entre les sexes : En tant qu'outil de formation théorique et pratique, les réacteurs de recherche sont utilisés par les étudiants indépendamment de leur genre. Les ateliers, formations et missions appuyés par l'AIEA, tout comme le programme de bourses Marie Skłodowska-Curie de l'AIEA et le programme Lise Meitner, aident à former une main d'œuvre

largement représentative capable d'être le moteur de l'innovation scientifique et technologique dans le monde.



ODD 6 – Eau propre et assainissement : Les réacteurs de recherche jouent un rôle clé dans la mise au point de techniques de stérilisation de l'eau fondées sur les rayonnements.

Le radiotraitement des eaux usées permet d'éliminer les micro-organismes nocifs, les pathogènes et les autres contaminants, pour que l'eau puisse être consommée ou utilisée à d'autres fins.

7 ÉNERGIE PROPRE
ET D'UN CÔTÉ
ABORDABLE

ODD 7 – Une énergie propre et d'un coût abordable : Les réacteurs de recherche permettent de mettre au point et de tester de nouvelles technologies. Les chercheurs peuvent évaluer de nouveaux concepts de réacteurs nucléaires, combustibles

et matériaux pour optimiser les modèles de réacteurs nucléaires au point de vue de la sûreté, de l'efficacité et de la performance, afin de garantir une énergie propre pour l'avenir. Atoms4NetZero est une initiative de l'AIEA qui soutient l'action menée par les pays pour exploiter l'électronucléaire aux fins de la transition vers la neutralité carbone. Les réacteurs de recherche servent également, grâce à des techniques telles que l'imagerie neutronique, la diffusion neutronique ou encore l'analyse de profil par neutrons, à l'étude de concepts énergétiques non nucléaires comme les piles à hydrogène et les batteries au lithium-ion.

8 TRAVAIL DÉCENT
ET CROISSANCE
ÉCONOMIQUE

ODD 8 – Travail décent et croissance économique : Grâce aux formations dispensées dans les réacteurs de recherche, les étudiants, chercheurs et professionnels du secteur nucléaire peuvent acquérir une expérience pratique et des connaissances, et ainsi se

préparer aux filières qui s'offrent à eux dans ce secteur et dans d'autres domaines connexes. En outre, les réacteurs de recherche peuvent fournir des produits et services, tels que le dopage de silicium, qui consiste à introduire des impuretés dans le silicium pour modifier les propriétés électriques des appareils électroniques.

9 INDUSTRIE,
INNOVATION ET
INFRASTRUCTURE

ODD 9 – Industrie, innovation et infrastructure : Les réacteurs de recherche favorisent l'innovation dans divers domaines, de l'électronique à la médecine en passant par les matériaux de construction conçus pour des conditions extrêmes. Les neutrons produits par

les réacteurs de recherche servent également aux essais non destructifs réalisés dans diverses industries, pour garantir la qualité et la sûreté des objets.

17 PARTENARIATS
POUR
LA RÉALISATION
DES OBJECTIFS

ODD 17 – Partenariats pour la réalisation des objectifs : Parvenir au développement durable est un effort collectif, et de nombreux établissements et universités accueillant des réacteurs de recherche participent à des projets de collaboration et à des activités de recherche

qui renforcent la coopération régionale et internationale dans les domaines de la science, de la technologie et de l'innovation, et qui améliorent l'accès à ces domaines.

Quel est le rôle de l'AIEA ?

L'AIEA aide les pays à utiliser leurs réacteurs de recherche de manière efficace et durable afin qu'ils puissent en tirer pleinement parti. Elle propose des formations et des ateliers sur les réacteurs de recherche, publie des orientations et des normes de sûreté et dispense des cours en ligne. Les projets de recherche coordonnée de l'AIEA favorisent la coopération internationale et la mise en réseau des experts, tout en favorisant les progrès scientifiques dans le domaine des réacteurs de recherche.

Les missions d'examen de l'AIEA pour les réacteurs de recherche facilitent la construction de nouveaux réacteurs de recherche. Lors de ces missions, l'AIEA examine également les pratiques des pays à l'aune de ses orientations et normes pour améliorer le fonctionnement, l'utilisation, la sûreté et la maintenance des installations de réacteurs. Plusieurs projets de coopération technique de l'AIEA se concentrent par ailleurs sur le renforcement des capacités techniques des pays en matière d'exploitation et de maintenance afin d'améliorer la sûreté, la fiabilité et l'utilisation des réacteurs de recherche.

Vue aérienne du cœur du réacteur de recherche de l'Université du Missouri (MURR) aux États-Unis d'Amérique. Le MURR produit des radio-isotopes utilisés dans des traitements susceptibles de sauver les vies de patients atteints de cancers du foie, du pancréas, de la prostate et de la thyroïde.

(Photo : Université du Missouri)

Les réacteurs de recherche au service de la production d'isotopes médicaux et de radiopharmaceutiques ou comment les neutrons sauvent des vies

Par Amirreza Jalilian et Mary Albon

Grâce à la production efficace de radio-isotopes médicaux et à la mise au point de nouveaux radiopharmaceutiques, le diagnostic et le traitement de nombreux types de cancers et d'autres maladies s'améliorent. De ce fait, la demande de radio-isotopes – lesquels sont principalement produits dans des réacteurs de recherche ou des accélérateurs – continue d'augmenter, et les radiopharmaceutiques sont de plus en plus utilisés dans la pratique clinique.

40 pays ont des réacteurs de recherche capables de produire des radio-isotopes ; environ **25** d'entre eux produisent activement des radio-isotopes à des fins médicales.

« Les radio-isotopes médicaux et radiopharmaceutiques peuvent sauver des vies lorsqu'ils sont préparés et administrés correctement », explique Melissa Denecke, directrice de la Division des sciences physiques et chimiques de l'AIEA.

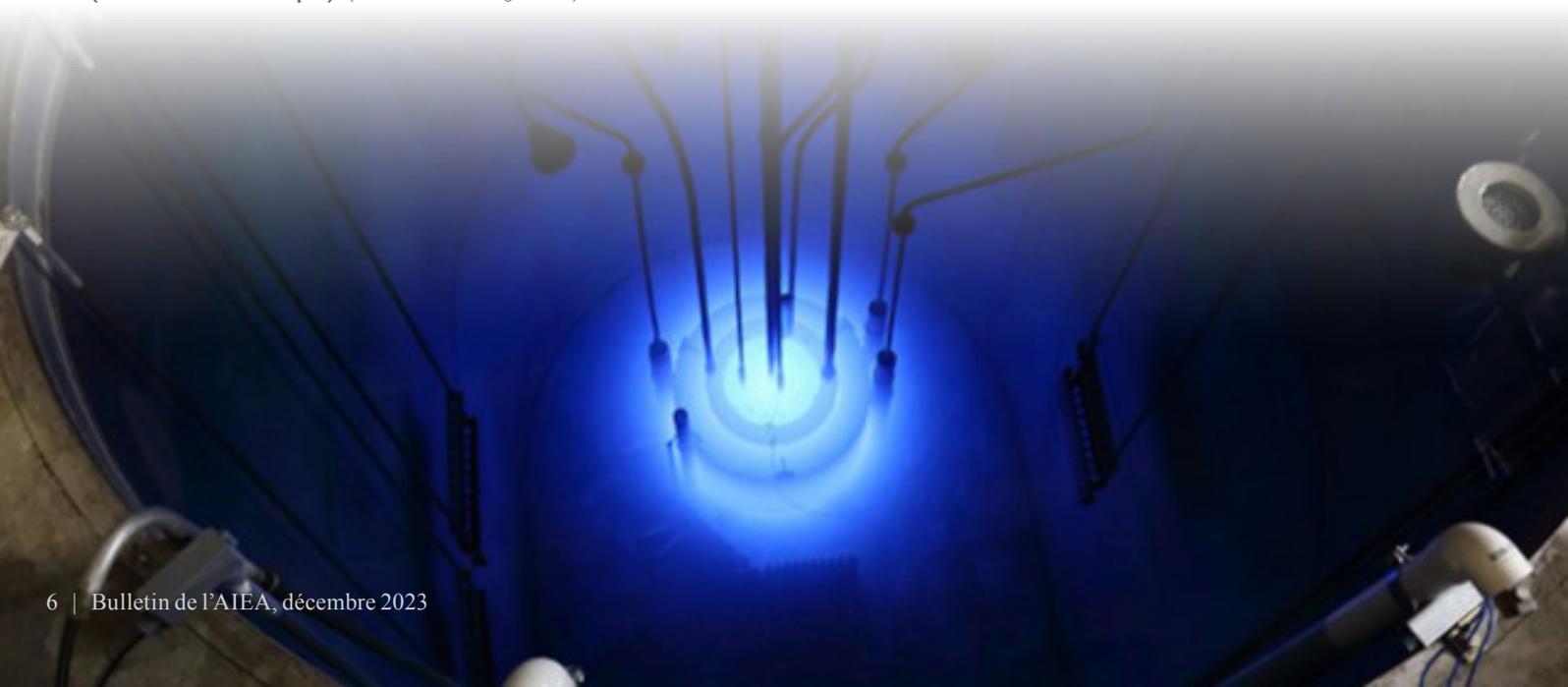
Les radio-isotopes médicaux sont des éléments radioactifs qui, lorsqu'ils sont combinés à telles ou telles molécules dans des formulations pharmaceutiques, émettent des rayonnements facilement traçables – d'où leur utilité pour le

diagnostic médical. Ils peuvent également être utilisés à des fins thérapeutiques, pour cibler les tissus tumoraux dans le traitement des cancers comme ceux de la prostate, du sein ou de l'intestin.

Les radiopharmaceutiques sont des médicaments qui associent un radio-isotope médical à une molécule biologiquement active. Ceux utilisés pour le diagnostic contenant des radio-isotopes qui émettent des rayons gamma peuvent cibler des organes, tissus ou cellules déterminés. Administrés aux patients par injection, inhalation ou par voie orale, ils produisent des images des organes ou tissus cibles à l'aide d'une caméra externe non invasive qui détecte les rayons gamma. Les radiopharmaceutiques thérapeutiques contiennent des radio-isotopes émettant des particules qui s'accumulent dans les tissus cibles pour tuer les cellules cancéreuses.

Les réacteurs de recherche sont la principale source de production de radio-isotopes médicaux, notamment le molybdène 99 (^{99}Mo), l'iode 131 (^{131}I) et l'holmium 166 (^{166}Ho). Le ^{131}I , utilisé pour diagnostiquer et traiter le cancer de la thyroïde, a été l'un des premiers radio-isotopes à être produit dans un réacteur de recherche au début des années 1940. Alors même qu'environ 35 radio-isotopes médicaux sont actuellement produits, le ^{99}Mo occupe une place prépondérante. C'est l'isotope parent du technétium 99m ($^{99\text{m}}\text{Tc}$), qui est utilisé dans environ 85 % des procédures de médecine nucléaire dans le monde pour le diagnostic des cancers et des maladies cardiaques, cérébrales et osseuses,

Le noyau d'un réacteur de recherche irradie une cible pour la production de radio-isotopes médicaux au Reed College (États-Unis d'Amérique). (Photo : D.McCullough/Flickr)



en d'autres termes dans près de 50 millions de procédures de médecine nucléaire chaque année.

Le lutécium ^{177}Lu est un autre radio-isotope important produit en réacteur de recherche. « Le ^{177}Lu est le pilier de la production de radiopharmaceutiques thérapeutiques utilisés pour traiter les personnes souffrant de douleurs osseuses ou de cancers de la prostate, de l'estomac ou de l'intestin », indique Renata Mikołajczak, chercheuse au Centre de radio-isotopes POLATOM du Centre national polonais pour la recherche nucléaire. « Au moins 20 nouveaux médicaments marqués au ^{177}Lu sont en cours de développement dans le monde. »

En mai 2023, l'AIEA a lancé un projet de recherche coordonnée pour mettre au point de nouveaux radiopharmaceutiques à base de ^{177}Lu aux fins du traitement des cancers. « Les récents progrès accomplis dans la radiothérapie fondée sur le ^{177}Lu nous ont amenés à modifier la manière dont on traite les tumeurs neuroendocrines et les cancers de la prostate, et partant d'obtenir de meilleurs résultats pour les patients », déclare Aruna Korde, scientifique de l'AIEA, spécialiste des radiopharmaceutiques. « Pour autant, nous ne comprenons pas encore parfaitement le comportement biologique des radiopharmaceutiques thérapeutiques marqués au ^{177}Lu », ajoute-t-elle. Le projet de recherche coordonnée vise à recenser et à traiter les facteurs de nature à limiter l'efficacité de ces produits de radiothérapie. Il permettra de mettre au point des radiopharmaceutiques marqués au ^{177}Lu et de procéder à une évaluation préclinique visant à en déterminer la capacité de cibler certains des principaux cancers. De plus, il établira des principes directeurs pour le marquage isotopique et pour l'évaluation de la qualité, de la sûreté et de l'efficacité des radiopharmaceutiques à base de ^{177}Lu .

Production de radio-isotopes

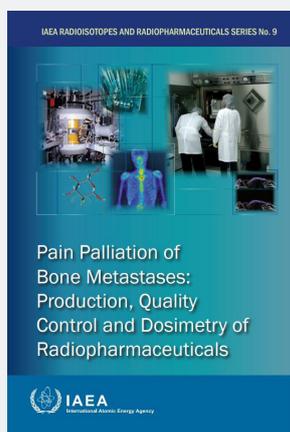
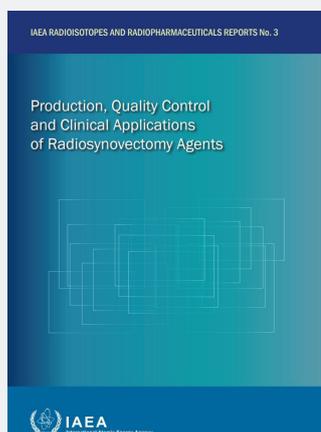
Sur les quarante pays qui disposent de réacteurs de recherche capables de produire des radio-isotopes, environ 25 en produisent activement pour des applications médicales. Le plus souvent, les radio-isotopes sont destinés au marché

national. Certains pays en exportent au niveau régional ou mondial, mais seuls quelques-uns le font en grandes quantités. L'AIEA met à disposition des pays du monde entier des connaissances et un savoir-faire pour le développement et la fabrication de ces produits essentiels au diagnostic et au traitement dans des réacteurs de recherche. Ces derniers constituent une source sûre et stable d'isotopes importants pour les applications médicales, notamment les radiopharmaceutiques, mais également de radio-isotopes à visée thérapeutique, comme ceux employés en curiethérapie, et pour la stérilisation de dispositifs médicaux.

La demande continue de croître. « Il reste encore beaucoup à faire pour pouvoir répondre à la demande croissante de radio-isotopes produits en réacteur de recherche », précise Bernard Ponsard, chef du projet Radio-isotopes au Centre belge d'étude de l'énergie nucléaire (SCK•CEN).

L'AIEA aide les pays à produire des radio-isotopes dans des réacteurs de recherche, non seulement à des fins médicales, mais aussi à des fins industrielles et de recherche-développement. Elle publie des orientations, tient des réunions techniques pour l'échange d'informations et de connaissances, organise des projets de recherche coordonnée avec des établissements de recherche dans plusieurs pays et facilite le renforcement des capacités au moyen d'activités de formation, de visites scientifiques et de bourses. Grâce à son programme de coopération technique, elle soutient également divers pays et contribue à l'exécution de projets régionaux et interrégionaux.

« L'AIEA met en place et soutient une communauté internationale de professionnels capables de produire des radio-isotopes et des produits radiopharmaceutiques sûrs et de bonne qualité », déclare M^{me} Denecke. « In fine, notre objectif est d'aider à accroître la production mondiale de ces outils essentiels à la médecine nucléaire et de combler les lacunes en matière d'accès dans certaines régions, afin que les personnes vulnérables atteintes de cancer et d'autres maladies mortelles puissent recevoir les soins dont elles ont besoin. »



Deux publications récentes de l'AIEA traitent de la production de radiopharmaceutiques et de l'usage clinique qui en est fait pour traiter les douleurs articulaires chez les personnes atteintes de polyarthrite rhumatoïde et d'hémophilie et pour atténuer les douleurs associées aux métastases osseuses avancées. De tels traitements peuvent améliorer la qualité de vie des patients.

Production, contrôle de la qualité et applications cliniques des agents de synovectomie radioactive | AIEA (en anglais).

Pour une meilleure prise en charge de la douleur due aux métastases osseuses : production, contrôle de la qualité et dosimétrie de radiopharmaceutiques | AIEA (en anglais)

Grâce aux progrès de l'imagerie neutronique, des perspectives s'offrent aux réacteurs de recherche de faible puissance

Par Mary Albon

L'imagerie neutronique est une technique d'examen des structures internes non invasive qui nécessite de recourir à des réacteurs de recherche ou à des sources de neutrons fondées sur les accélérateurs. « C'est un outil extraordinaire, qui offre d'innombrables possibilités en matière de recherche-développement scientifique et industrielle, ainsi que pour la criminalistique et l'étude des objets culturels », explique Molly-Kate Gavello, administratrice de projet adjointe à l'AIEA. L'imagerie neutronique peut être utilisée pour des essais sur les moteurs, les amortisseurs ou les pales de turbines, tout comme elle peut aider à voir comment l'eau circule dans une plante vivante ou même à examiner l'intérieur d'un crâne de dinosaure fossilisé rempli de roches ferreuses.



Le système d'imagerie neutronique de l'Université technique tchèque de Prague (CTU) a révélé un axis mundi (symbole du lien entre les mondes physique et spirituel) à l'intérieur d'une statue de Sherap Chamma, divinité tibétaine Bön.

(Photos : L. Sklenka/CTU)

Même si l'imagerie neutronique est utilisée depuis les années 1950, les images en deux dimensions (2D) sur film sont restées la norme jusqu'aux années 1990. Avec l'avènement des technologies numériques, dont les caméras très complexes, l'imagerie neutronique se fonde désormais sur la tomodensitométrie (CT), qui utilise des centaines d'images prises sous différents angles pour créer une image en trois dimensions (3D) particulièrement détaillée.

Jusqu'à récemment encore, l'imagerie neutronique par CT, ou imagerie 3D, ne pouvait se faire avec des sources de neutrons à faible flux, telles que les réacteurs de recherche de faible puissance, et ce pour des raisons à la fois techniques et financières.

Des images de haute qualité exigeant peu d'énergie

Mais tout a changé en 2021, lorsque Jana Matoušková, doctorante à l'Université technique tchèque de Prague (CTU), et son directeur de thèse Lubomír Sklenka, ont prouvé qu'il était possible de réaliser une imagerie neutronique par CT à une puissance de réacteur de recherche de 500 watts (W).

Cette découverte révolutionnaire s'inscrivait dans la foulée de deux autres avancées. Tout d'abord l'apparition au cours de la dernière décennie d'appareils d'astrophotographie de haute qualité et peu coûteux. Puis, les chercheurs de la source expérimentale de neutrons Heinz Maier-Leibnitz (FRM II), à l'Université technique de Munich (Allemagne), qui avaient pris conscience du potentiel de ces nouveaux appareils, ont présenté en 2016 la première mini-installation de tomographie neutronique, adaptée aux réacteurs de faible puissance. L'équipe, dirigée par Burkhard Schillinger, a conçu et construit un système d'imagerie neutronique de haute qualité et peu coûteux, doté d'un boîtier de détecteur imprimé en 3D et d'une version simplifiée du logiciel de contrôle professionnel utilisé dans l'installation d'imagerie ANTARES (un système expérimental avancé de tomographie et de radiographie neutroniques) du réacteur de recherche FRM II. La qualité d'image des nouveaux détecteurs était comparable à celle du système de pointe habituellement utilisé dans l'installation ANTARES.

M^{me} Matoušková voulait tenter d'utiliser l'imagerie neutronique avec des sources de neutrons de faible puissance, telles que le réacteur d'entraînement VR-1 de 500 W de la CTU. À titre de comparaison, le réacteur FRM II de 20 MW est 40 000 fois plus puissant et produit donc 40 000 fois plus de neutrons que le réacteur de la CTU. La tâche n'était pas simple, car M^{me} Matoušková, contrainte par les restrictions liées à la COVID-19, ne pouvait pas accéder aux installations de la CTU pour y mener ses expériences.

M. Sklenka a donc contacté M. Schillinger pour qu'il l'aide à reproduire le système à faible coût que l'équipe du FRM II avait mis au point. Ce dernier a conseillé M^{me} Matoušková par visioconférence et lui a fourni des informations sur la conception du système, lui expliquant où elle pouvait se procurer les pièces nécessaires. Étape par étape, elle a construit un système d'imagerie neutronique chez elle, qu'elle a testé avec de la lumière visible.

Une fois les restrictions liées à la COVID-19 levées, M^{me} Matoušková a installé son système au réacteur de la CTU et a réussi à générer la première image neutronique numérique 2D de cette université, suivie d'une tomographie neutronique

d'une durée d'exposition de 12 heures à 500 W – montrant qu'elle pouvait désormais obtenir des résultats en un jour avec nettement moins de puissance. La puissance des réacteurs de recherche utilisant cette technique va de quelques centaines de kilowatts à plusieurs dizaines de mégawatts.

M^{me} Matoušková perfectionne actuellement le système d'imagerie neutronique du CTU dans le cadre de son doctorat. Le système est principalement utilisé à des fins de formation, mais aussi pour la recherche, par exemple pour examiner des objets culturels en collaboration avec la Galerie nationale de Prague.

Partage des technologies et des connaissances

Les expériences menées au FRM II et à la CTU ont montré qu'une mini-installation pouvait être utilisée avec n'importe quelle source de neutrons, y compris les réacteurs de recherche de très faible puissance. M. Schillinger a expliqué que son équipe était disposée à fournir gratuitement les plans de conception et le logiciel et à apporter une aide à l'installation et à la configuration à tous les intéressés dans le monde.

Grâce à des pièces fabriquées à l'aide d'une imprimante 3D, à un logiciel adapté à un ordinateur portable et à la baisse du prix des appareils d'astrophotographie, l'ensemble peut être assemblé pour moins de 5 000 euros et peut être facilement transporté. En 2022, M. Schillinger et Aaron Craft, chercheur au Laboratoire national de l'Idaho (États-Unis d'Amérique), ont dirigé une mission d'experts de l'AIEA chargée d'installer un système d'imagerie neutronique numérique dans le réacteur de recherche RECH-1 de la Commission chilienne de l'énergie nucléaire. M. Schillinger a apporté les composants avec lui dans une valise et le système a été monté en deux jours.

« L'AIEA joue un rôle clé dans la mise à disposition de cette technologie pour les réacteurs de recherche de faible puissance », dit M. Schillinger. « Les nouveaux détecteurs sensibles ouvrent un tout nouveau champ d'application pour ces réacteurs, qui ne fournissent pas suffisamment de neutrons pour les expériences complexes de diffusion neutronique. L'imagerie neutronique rend plus accessibles pour la formation, la recherche et la collaboration avec les musées. »



Lubomír Sklenka, Jana Matoušková et Burkhard Schillinger au réacteur de recherche de l'Université technique tchèque de Prague

(Photo : Technical University of Munich)

L'AIEA facilite la coopération technique avec les réacteurs de recherche, y compris par des missions d'experts et l'acquisition de matériel. Elle publie également des guides sur l'imagerie neutronique, propose des formations régionales et étoffe son offre de formation en ligne. En 2022, l'AIEA a également permis à M^{me} Matoušková de passer quatre mois au réacteur de recherche RA-6 en Argentine pour aider à installer et à tester un système d'imagerie neutronique à faible coût.

Un double système à neutrons et à rayons X similaire a été installé et mis en service à l'installation de neutronique de l'AIEA à Seibersdorf (Autriche), où il est utilisé pour la formation.

Qu'est-ce que l'imagerie neutronique ?

L'imagerie neutronique est une méthode non invasive qui permet d'examiner les structures internes et la composition d'objets opaques. Elle repose sur des principes semblables à ceux de l'imagerie par rayons X. Cependant, contrairement aux rayons X, qui sont absorbés par les matériaux denses tels que les métaux, les faisceaux de neutrons pénètrent la plupart des métaux et des roches, et sont atténués par certains éléments légers comme le bore, le carbone, l'hydrogène et le lithium. Les neutrons peuvent également aider à visualiser les champs magnétiques ainsi que les tensions dans les matériaux technologiques et structurels.

Le nouveau service d'examen par des pairs de l'AIEA aide les pays à maximiser la puissance et l'utilité des réacteurs de recherche

Par Emma Midgley

Les réacteurs de recherche sont des outils polyvalents. Bien qu'ils ne servent pas à générer de l'électricité, certains d'entre eux aident à trouver des solutions innovantes d'énergie propre, tandis que d'autres produisent des radio-isotopes qui sauvent des vies ou nous apportent de nouvelles informations sur le patrimoine culturel. Si nombre de réacteurs de recherche sont utilisés à leur capacité maximale, certains sont sous-utilisés. Pour aider les pays à exploiter durablement et efficacement le plein potentiel de leurs réacteurs de recherche, l'AIEA a lancé le service « Examen intégré de l'utilisation des réacteurs de recherche » (IRRUR).

« De nombreux réacteurs de recherche ont été construits dans les années 1950 et 1960 pour répondre à un besoin immédiat à l'époque. Aujourd'hui, on comprend mieux le potentiel des réacteurs de recherche et de nouvelles applications sont mises au point pour les nouveaux et les anciens réacteurs », déclare Nuno Pessoa Barradas, spécialiste des réacteurs de recherche à l'AIEA.

Le lancement du service IRRUR a eu lieu en 2022 au cours d'une mission d'évaluation des opérations et de la maintenance des réacteurs de recherche (OMARR) au réacteur de recherche de type piscine RECH-1 de 5 mégawatts (MW) situé au Centre de recherche nucléaire

de La Reina à Santiago (Chili), elle-même précédée d'une mission d'examen pilote menée en 2019 en Italie. Les experts internationaux de l'équipe IRRUR avaient alors apporté les compétences acquises dans les domaines de la science, de la gestion et des opérations en lien avec l'utilisation d'un réacteur de recherche et ses applications.

« La science et les technologies nucléaires contribuent aux objectifs nationaux de développement dans des domaines tels que la santé, l'environnement, les ressources en eau et les ressources agricoles, l'énergie, l'exploitation minière et l'industrie », affirme Luis Huerta, Président de la Commission chilienne de l'énergie nucléaire. « Ces missions de l'AIEA, dont l'objectif était de procéder à un examen exhaustif du réacteur nucléaire chilien RECH-1, ont permis d'analyser nos capacités pour améliorer les opérations et la maintenance de notre installation nucléaire et étendre son utilisation et ses applications, notamment dans le cadre de nouvelles initiatives de recherche-développement. »

Des experts d'Argentine, de Belgique, des États-Unis d'Amérique et de l'AIEA, ainsi qu'un observateur du Pérou, ont participé à cette mission de cinq jours. L'équipe a relevé des possibilités d'utiliser davantage le réacteur en établissant notamment des partenariats avec des parties prenantes de la production d'isotopes médicaux, ce qui

L'équipe d'experts de l'AIEA et d'experts internationaux qui a effectué une mission d'examen intégré de l'utilisation des réacteurs de recherche au Laboratoire national de l'Idaho en juin 2023. (Photo : Laboratoire national de l'Idaho)



permettrait d'anticiper les besoins. Elle a également recommandé d'élaborer une stratégie d'information active afin d'élargir la communauté d'utilisateurs.

Depuis la mission, un système d'imagerie neutronique a été mis en place dans l'installation chilienne avec l'aide de l'AIEA, ce qui offre de nouvelles possibilités de recherche. L'imagerie neutronique est une méthode non destructive d'imagerie d'objets semblable à la radiographie par rayons X. Elle peut être utilisée pour l'examen de combustibles nucléaires, de composants électroniques et de pales de turbines de moteurs ainsi que pour la caractérisation des piles à combustible et des échantillons géologiques.

Soutenir des solutions d'énergie propre

L'importance des réacteurs de recherche dans la recherche-développement, notamment la recherche sur les matériaux des réacteurs à fission et à fusion nucléaires, a pu être constatée lors de deux autres missions IRRUR effectuées aux États-Unis d'Amérique en 2023. Des équipes internationales d'experts ont visité le Laboratoire national de l'Idaho et le Laboratoire nucléaire de l'Institut de technologie du Massachusetts (MIT).

Le réacteur de recherche du Laboratoire national de l'Idaho sert principalement à la recherche sur la neutronographie et d'autres techniques non destructives, ainsi qu'aux irradiations neutroniques, qui permettent d'étudier la façon dont le combustible nucléaire et les matériaux structurels réagissent dans des conditions normales et extrêmes. Le réacteur du MIT procède à des irradiations pour compléter les travaux du laboratoire et d'autres installations de recherche nucléaire aux États-Unis et contribue à la recherche sur les matériaux utilisés dans la fission et la fusion nucléaires.

Les experts de la mission ont relevé que le Laboratoire national de l'Idaho pourrait améliorer certaines capacités en matière d'imagerie neutronique numérique pour consolider ses recherches sur les solutions électronucléaires innovantes et que le MIT pourrait bénéficier d'un engagement plus productif auprès de la communauté des sciences et des technologies nucléaires dans le monde. En outre, ils ont recommandé que le Laboratoire nucléaire du MIT modernise son infrastructure vieillissante afin d'accroître la fiabilité du réacteur et d'offrir un environnement plus attrayant aux utilisateurs extérieurs, aux étudiants et au personnel.

Ron Crone, directeur adjoint du complexe des matériaux et des combustibles du Laboratoire national de l'Idaho et membre de l'équipe IRRUR dans le cadre de la mission effectuée au MIT, a estimé que le laboratoire nucléaire du MIT avait le potentiel de devenir une installation « de premier plan » en ce qui concerne l'irradiation des matériaux et combustibles nucléaires selon les besoins. « Grâce à des investissements supplémentaires en infrastructure et à un engagement extérieur accru, je pense qu'il pourra servir à mener des travaux de recherche importants sur des solutions énergétiques innovantes faisant appel aussi bien à la fission nucléaire qu'à la fusion nucléaire, et ce, pour les prochaines décennies », explique-t-il.

Les missions d'examen IRRUR sont effectuées sur demande et peuvent porter sur l'ensemble des activités d'un réacteur de recherche ou se limiter à des domaines précis. Les examens se fondent sur les orientations de l'AIEA concernant la planification stratégique et l'utilisation des réacteurs de recherche ainsi que sur les meilleures pratiques internationales.

En 2023, l'AIEA a publié les orientations IRRUR qui donnent des informations sur la préparation et l'exécution des missions IRRUR, et l'établissement de leurs rapports, mais aussi sur les autoévaluations à destination des organismes responsables des installations de réacteurs de recherche. En 2020, l'AIEA a également lancé un cours d'apprentissage en ligne sur la planification stratégique en vue d'améliorer l'utilisation des réacteurs de recherche.

Missions IRRUR

2019 : Italie (pilote)

2022 : Afrique du Sud, Chili, Pérou,

2023 : République islamique d'Iran, États-Unis d'Amérique (deux missions)

2024 : Canada (prévue)

Aider les scientifiques africains à tirer parti du potentiel des réacteurs de recherche pour le développement socio-économique

Par Omar Yusuf

Les premiers gisements d'uranium en Afrique ont été découverts en 1915 dans le village de Shinkolobwe, situé dans le sud de l'actuelle République démocratique du Congo. Environ quatre décennies plus tard, en 1958, l'histoire de la science et de la technologie nucléaires en Afrique allait commencer avec la divergence du réacteur de recherche TRICO I de la République démocratique du Congo, premier réacteur de ce type construit dans la région, à l'Université de Kinshasa. L'Égypte et l'Afrique du Sud ont peu après emboîté le pas à la République démocratique du Congo, en mettant en service des réacteurs respectivement en 1958 et en 1965. Depuis lors, les réacteurs de recherche ont joué un rôle essentiel dans le développement socio-économique du continent.

On compte actuellement en Afrique **11** réacteurs de recherche situés dans **8** pays à savoir l'Afrique du Sud, l'Algérie, l'Égypte, le Ghana, la Libye, le Maroc, le Nigéria et la République démocratique du Congo.

On compte actuellement en Afrique 11 réacteurs de recherche situés dans 8 pays, à savoir l'Afrique du Sud, l'Algérie, l'Égypte, le Ghana, la Libye, le Maroc, le Nigéria et la République démocratique du Congo. Ces installations, d'une puissance thermique pouvant atteindre 22 mégawatts, sont régulièrement utilisées pour de nombreuses applications, notamment pour soutenir la gestion durable des terres par les agriculteurs africains, pour produire des radio-isotopes destinés à des traitements du cancer susceptibles de sauver des vies et au sondage de l'intégrité structurelle de bâtiments et d'équipements industriels, et pour identifier les sources de pollution atmosphérique d'origine industrielle.

Bien qu'une dizaine de pays africains envisagent actuellement la production d'électricité d'origine nucléaire, beaucoup d'autres considèrent le déploiement de réacteurs de recherche comme un tremplin vers de futurs programmes électronucléaires, car cela permettra de constituer un contingent de personnel qualifié et doté des capacités nécessaires.

Certains pays ne disposant pas de réacteurs de recherche – notamment l'Éthiopie, le Kenya, le Niger, l'Ouganda, la

République-Unie de Tanzanie, le Rwanda, le Sénégal et la Zambie – envisagent ou planifient désormais d'en construire et ont déjà ciblé des applications et des produits ou services spécifiques à fournir.

Former la prochaine génération de spécialistes des réacteurs de recherche

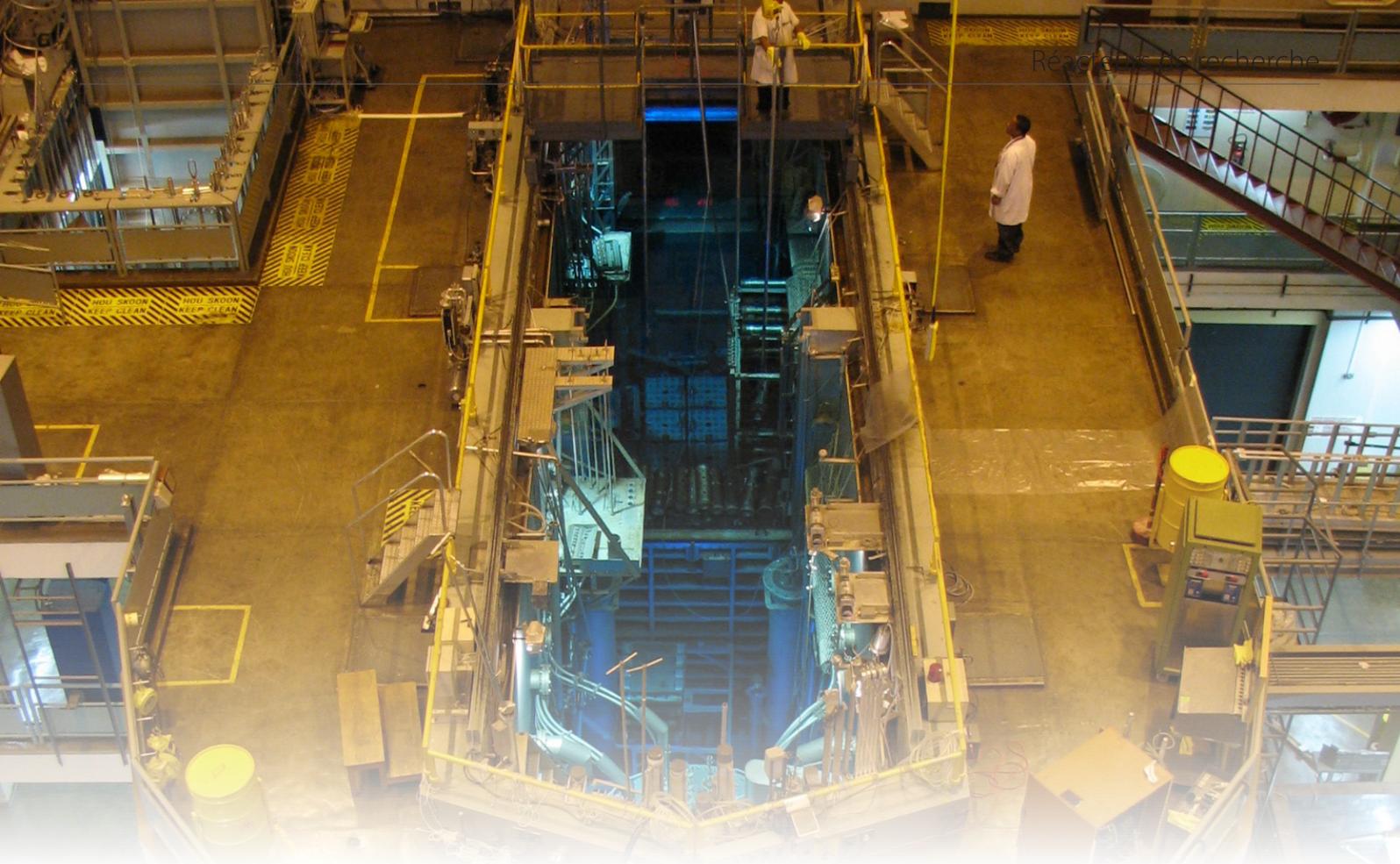
Le besoin de services de radiologie fournis par les réacteurs de recherche et, partant, de jeunes professionnels capables de les fournir, s'est accru ces dernières années. C'est la raison pour laquelle l'AIEA aide les pays africains à élaborer des plans stratégiques pour la construction et l'utilisation de nouveaux réacteurs de recherche.

À titre d'exemple, dans le cadre d'un projet régional de coopération technique en cours, des experts de plusieurs pays africains ont participé à un atelier de l'AIEA en juin 2023 qui leur a permis d'apprendre à préparer des plans stratégiques pour la construction de nouveaux réacteurs de recherche.

Ces plans à vocation stratégique sont conçus pour à la fois justifier la construction d'une installation et émettre des recommandations détaillées sur l'utilisation du réacteur, tout en prévoyant la fourniture de services ou de produits de radiologie particuliers à des fins industrielles, médicales et scientifiques. Guidés par des experts de l'AIEA, les scientifiques participants ont ensuite été invités à proposer des plans financiers et stratégiques correspondants destinés à garantir la sûreté et la viabilité du réacteur de recherche dont la construction a été proposée.

Tout au long de l'atelier qui a duré une semaine, des spécialistes de l'AIEA ont présenté des exposés et des séances pratiques aux scientifiques venus d'Éthiopie, du Kenya, du Niger, de l'Ouganda, de la République-Unie de Tanzanie, du Rwanda, du Sénégal et de la Zambie.

En complément, afin de soutenir le renforcement des capacités dans les domaines les plus étroitement liés à l'utilisation des réacteurs de recherche, l'AIEA a créé le Centre international désigné par l'AIEA s'appuyant sur des réacteurs de recherche (ICERR), qui a pour objet de recenser les installations capables de répondre aux besoins en formation et en recherche des pays qui n'ont pas accès régulièrement à des réacteurs de recherche. En mai 2023, la troisième édition de l'École sur les réacteurs de recherche de l'AIEA dans la région Afrique s'est tenue au dernier ICERR agréé, le Centre national de l'énergie, des sciences et des techniques nucléaires (CNESTEN) du Maroc, qui gère le réacteur de recherche MA-R1.



Le réacteur de recherche sud-africain SAFARI-1 est en service depuis 1965. Il compte parmi les cinq plus grands producteurs mondiaux de molybdène 99, un radio-isotope médical. (Photo : South African Nuclear Energy Corporation – NECSA)

Conçue pour dispenser une formation intensive à la physique des réacteurs ainsi qu'au fonctionnement et à l'utilisation sûres des réacteurs de recherche, la troisième édition de l'École sur les réacteurs de recherche dans la région Afrique a permis aux 13 ingénieurs et physiciens présents d'assister au fonctionnement en temps réel d'un réacteur de recherche. Plus précisément, les participants ont pu apprendre comment les experts du CNESTEN produisent des radio-isotopes médicaux et effectuent des analyses par activation neutronique.

« L'École a été très instructive, riche en informations, conviviale et fort utile », s'est réjoui Yahaya Musa, qui travaille en physique médicale au Centre de recherche et de formation dans le domaine de l'énergie à Zaria (Nigéria).

« Le programme m'a permis d'approfondir mes connaissances sur le fonctionnement des réacteurs de recherche et les expériences qui y sont menées, ainsi que de développer mes compétences dans ces domaines. »

À l'appui de la sûreté, des opérations et de l'utilisation des réacteurs

Alors que les pays primo-accédants poursuivent la mise en place de nouvelles installations de réacteurs de recherche, les réacteurs existants en Afrique pourraient également bénéficier de normes améliorées en matière de sûreté d'utilisation, d'une planification commerciale plus efficace et de liens plus étroits

entre les services fournis par les réacteurs de recherche et les défis persistants du développement national.

Tel est l'objectif d'un autre projet de coopération technique de l'AIEA en cours – mis en œuvre sous les auspices de l'Accord régional de coopération pour l'Afrique sur la recherche, le développement et la formation dans le domaine de la science et de la technologie nucléaires (AFRA) – qui donne la priorité à l'amélioration de la sûreté et à l'utilisation stratégique du parc africain de réacteurs de recherche. De la préparation des documents de sûreté à la mise en œuvre des examens périodiques de sûreté et des arrangements de préparation des interventions d'urgence, les visites scientifiques ont aidé les pays participant au projet – qui gèrent tous actuellement des réacteurs de recherche – à déterminer la meilleure façon d'améliorer leur conformité avec les normes de sûreté pertinentes et les orientations de l'AIEA.

Des scientifiques africains de haut niveau ont également visité des réacteurs de recherche en Allemagne, en France, en Jamaïque, en Malaisie, aux Pays-Bas, en République tchèque et en Thaïlande afin d'observer et d'apprendre comment leurs homologues étrangers appliquent les normes de sûreté de l'AIEA, les orientations en matière de gestion du vieillissement et les programmes d'utilisation dans leurs installations. Ces visites de sites et ces échanges de connaissances visent à renforcer les capacités régionales, à améliorer l'utilisation des réacteurs de recherche aux fins du développement socio-économique et à garantir leur sûreté de fonctionnement.

Les réseaux de réacteurs de recherche optimisent leurs activités face à une demande croissante

Par Melissa Evans

Les réacteurs nucléaires de recherche sont des plaques tournantes scientifiques importantes pour la communauté nucléaire. Ils accueillent des séances de formation, permettent de réaliser des expériences et fournissent des produits et des services précieux comme la production de radio-isotopes à des fins médicales, agricoles et industrielles. Plus de 200 d'entre eux sont en service dans le monde ; ils sont de plus en plus sollicités, et l'AIEA aide leur personnel à répondre à cette demande en créant des réseaux qui favorisent la collaboration en vue d'optimiser leurs activités.

Le Réseau régional de réacteurs de recherche et d'institutions connexes en Amérique latine et dans les Caraïbes (RIALC) créé en 2023, avec le soutien de l'AIEA, pour répondre à des enjeux régionaux communs, comprend 9 pays de la région dotés de 16 réacteurs de recherche en service. Les ressources étant mises en commun, chaque pays bénéficie du vivier d'experts et des capacités des autres réacteurs de recherche du réseau. Cette solution offre la possibilité à chaque installation de réacteur de recherche de cibler le domaine dans lequel elle possède un avantage concurrentiel, tout en permettant de mieux répondre aux demandes de la région et de fournir des services plus efficaces. Les réacteurs de recherche participants ont fait l'objet d'une évaluation visant à dégager les priorités nationales et régionales, ainsi que les spécialités de chacun d'entre eux. Des comparaisons en cours ont aussi pour objectif d'aider à normaliser les projets futurs.

« Les pays sont tous convenus de travailler en concertation et de façon harmonisée, en formant un seul bloc, pour faire progresser la technologie nucléaire. Certes, le niveau de développement des différents pays est très variable, mais c'est précisément là que réside la valeur ajoutée du RIALC : il met en lumière les voies déjà empruntées dans la région, permettant ainsi aux pays de présenter les infrastructures et les ressources dont ils disposent », explique Mario Mallaupoma, coordonnateur du RIALC et président de l'Institut péruvien de l'énergie nucléaire. « Le RIALC est parti non seulement de la volonté des pays de la région de se soutenir mutuellement, mais aussi de celle d'inciter véritablement les décideurs à promouvoir la réalisation des objectifs de développement durable dans la région et à améliorer la qualité de vie des populations. »

Le RIALC est axé sur cinq domaines thématiques : la formation théorique et pratique, l'utilisation et le

vieillessement, les applications des réacteurs telles que la géochronologie, l'imagerie neutronique et l'analyse par activation neutronique, et la production de radio-isotopes.

Depuis le lancement du RIALC en février 2023, la Commission chilienne de l'énergie nucléaire a accueilli des experts techniques péruviens afin de discuter de l'analyse par activation neutronique – une application des essais non destructifs qui permet de détecter des éléments traces, souvent effectuée dans les réacteurs de recherche par activation de leur flux de neutrons. « Le Pérou dispose d'un réacteur de recherche de 10 mégawatts, qui est celui de la région dont la puissance est la plus élevée et qui est capable de produire le plus grand flux de neutrons. Le pays va promouvoir et encourager un recours accru à son réacteur de recherche pour la conduite de travaux de recherche, ainsi que des actions visant à produire des biens et des services en collaboration avec les autres pays de la région Amérique latine et Caraïbes », précise Mario Mallaupoma.

Un nouveau cours d'apprentissage en ligne (en espagnol) sur la planification stratégique au profit des organismes nucléaires nationaux, complétant celui en anglais sur le même sujet, a été institué durant la 67^e Conférence générale de l'AIEA, tenue en septembre 2023. Il est adapté à la région Amérique latine et Caraïbes et comprend plus particulièrement deux études de cas approfondies fournies par les représentants de l'Argentine et du Chili au RIALC. Fondé sur la publication de l'AIEA de 2017 intitulée *Strategic Planning for Research Reactors* (IAEA Nuclear Energy Series No. NG-T-3.16), il porte sur la gestion opérationnelle des réacteurs de recherche. Les participants au cours apprennent à prioriser les demandes de différents types de services dans une optique d'efficacité et de viabilité des réacteurs de recherche. Cette démarche s'appuie sur l'aide de longue date apportée par l'AIEA aux réacteurs de recherche dans le cadre d'activités de planification stratégique. Depuis 2014, à la demande des pays concernés, l'AIEA a formulé des avis spécialisés sur 95 plans stratégiques se rapportant à 63 réacteurs.

Le RIALC suit l'exemple donné par de précédents réseaux de réacteurs de recherche qui ont été créés avec le concours de l'AIEA, notamment des réseaux régionaux et techniques. L'Initiative en faveur des réacteurs de recherche d'Europe orientale (EERRI) a été mise sur pied en 2008. À l'instar du RIALC, elle a vocation à soutenir les activités régionales



Dans les installations du réacteur de recherche de l'Université technique de Vienne, des cours visant à aider les étudiants à acquérir des compétences pratiques se déroulent sous l'égide de l'Initiative en faveur des réacteurs de recherche d'Europe orientale. (Photo : AIEA)

de formation tout en optimisant les services. Elle regroupe sept pays – l'Autriche, la Hongrie, la Pologne, la République tchèque, la Roumanie, la Serbie et la Slovaquie – et les activités sont organisées par les organismes participants. Avec l'appui de l'AIEA, elle a permis d'organiser à 18 reprises, à l'intention de jeunes spécialistes du secteur nucléaire, un cours de six semaines qui comprend des exposés techniques, des visites de sites et des exercices pratiques dans des installations de ses réacteurs de recherche, l'objectif étant de former la prochaine génération de leurs opérateurs.

La mise en commun des compétences techniques est à la base d'un autre réseau de réacteurs de recherche soutenu par l'AIEA : le Réseau mondial de réacteurs de recherche TRIGA (GTRRN). Les réacteurs TRIGA (pour « Training, Research, Isotopes, General Atomics », ou « formation, recherche, isotopes, General Atomics ») sont tous conçus et fonctionnent à l'identique ; plus d'une trentaine d'entre eux sont actuellement en service dans le monde. Le GTRRN a été inauguré en novembre 2013 pour aider les exploitants des réacteurs de recherche TRIGA de 15 pays à résoudre des problèmes communs, comme celui du combustible à

l'uranium faiblement enrichi qu'utilisent ces réacteurs et dont l'acquisition et le stockage définitif après utilisation sont de plus en plus compliqués. « Le GTRRN constitue une ressource majeure consacrée aux réacteurs de recherche TRIGA. Ses membres s'en servent pour communiquer des informations et pour s'entraider, par exemple, pour trouver les pièces détachées nécessaires aux expériences, car il peut parfois être difficile de trouver d'éventuels fournisseurs », explique Nuno Pessoa Barradas, spécialiste des réacteurs de recherche à l'AIEA.

L'AIEA aide les pays à améliorer les services fournis par les réacteurs de recherche. Ces derniers étant des établissements scientifiques spécifiques, les réseaux spécialement conçus pour eux qu'elle soutient permettent aux experts concernés du monde entier de trouver des solutions face aux mêmes difficultés et d'exploiter tout le potentiel de ces établissements en collaborant.

Maintenir en activité les réacteurs de recherche vieillissants dans le monde

Par Emma Midgley

On compte plus de 220 réacteurs de recherche en service dans le monde. Ceux-ci proposent des services essentiels, comme la production de radio-isotopes médicaux, et permettent de mener des recherches scientifiques dans les domaines de l'agriculture et de l'industrie. Néanmoins, ces installations vieillissent. La plupart d'entre elles fonctionnent depuis plus de 50 ans. Aidés par l'AIEA, les organismes responsables et organismes de réglementation s'emploient à remettre en état et à moderniser ces réacteurs pour qu'ils puissent continuer à fournir des biens et services en toute sûreté et sécurité.

« De nombreux pays ne disposent d'aucune solution de remplacement pour ces réacteurs de recherche, et ne prévoient pas non plus d'en construire de nouveaux », explique Ruben Mazzi, responsable technique de l'utilisation et de la maintenance des réacteurs de recherche à l'AIEA. « Nous aidons les pays à prendre les mesures nécessaires pour maintenir ces réacteurs en activité. Chaque réacteur est différent et vieillit différemment. Les ressources et services que propose l'AIEA au parc mondial sont d'une grande aide pour gérer le vieillissement. »

En 2001, face à un parc de réacteurs de plus en plus vieillissant, l'AIEA a pris les devants et lancé son plan de renforcement de la sûreté des réacteurs de recherche, qui vise à aider les pays à assurer un haut niveau de sûreté dans les réacteurs de recherche. C'est dans ce cadre qu'elle a créé le Code de conduite pour la sûreté des réacteurs de recherche, qui fournit aux pays des orientations sur l'élaboration et l'harmonisation des politiques et des réglementations relatives à la sûreté de ces types de réacteurs. Forts de l'appui de l'AIEA, les pays s'emploient ainsi à mettre en œuvre des programmes systématiques de gestion du vieillissement.

L'AIEA a conçu des activités complémentaires pour aider les pays à gérer leurs réacteurs de recherche vieillissants. Elle a établi des normes de sûreté et rédigé des lignes directrices techniques, qu'elle continue de mettre à jour, et poursuit ses examens par des pairs et services consultatifs, tout en organisant des réunions techniques, ateliers et formations.

L'AIEA a adapté la méthode SALTO, portant sur les questions de sûreté concernant l'exploitation à long terme des réacteurs nucléaires, aux réacteurs de recherche. En 2017, elle a mené à bien la première mission SALTO sur un réacteur de

En 2022, lors d'une mission d'évaluation de l'utilisation et de la maintenance du réacteur de recherche Maria (Pologne), des experts se sont penchés sur les systèmes d'assurance de la qualité et de gestion, les pratiques d'utilisation et de maintenance, et le programme de gestion du vieillissement. (Photo : Centre national pour la recherche nucléaire, Pologne)





L'examen visuel et les essais non destructifs permettent d'évaluer la sûreté et les conditions de fonctionnement des structures, systèmes et composants d'une installation de réacteur, y compris la plaque de support et la grille du cœur du réacteur.

(Photos : R. Mazzi/AIEA)

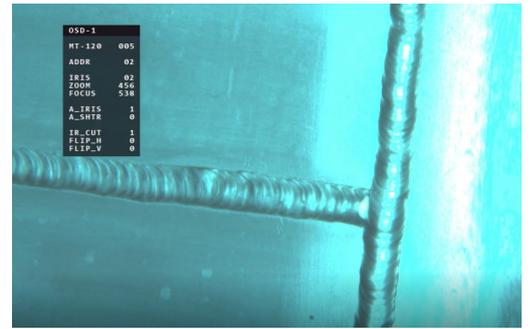
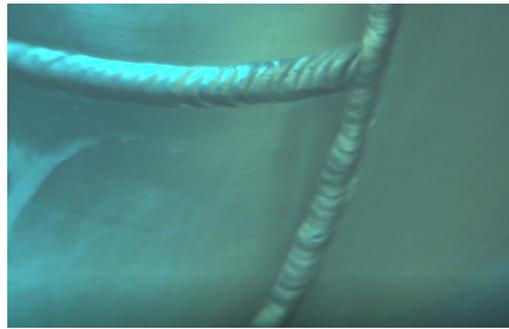
recherche – à savoir le réacteur belge BR2. Les missions SALTO ont pour but d'examiner les procédures et pratiques des installations à l'aune des normes de sûreté de l'AIEA et de formuler des recommandations pour améliorer la sûreté et l'efficacité des projets de modernisation et de rénovation de ces installations. « Au-delà des systèmes et composants, la rénovation et la modernisation supposent également d'améliorer la sûreté, pour que l'installation de réacteur soit bien conforme aux dernières normes correspondantes de l'AIEA », explique Amgad Shokr, chef de la Section de la sûreté des réacteurs de recherche de l'AIEA.

Il est nécessaire d'examiner régulièrement les structures, systèmes et composants en vue de détecter d'éventuelles dégradations et ainsi évaluer les effets du vieillissement sur la sûreté et le fonctionnement, ou pour éviter des réparations coûteuses. Les organismes responsables exécutent des programmes de maintenance de routine et d'essais périodiques pour veiller à ce que les structures, systèmes et composants soient toujours en mesure de remplir leurs fonctions et à ce que le réacteur fonctionne dans ses limites et conditions d'utilisation. Ces examens exigent parfois de recourir à des techniques spéciales et à des ressources supplémentaires dont tous les organismes responsables ne disposent pas nécessairement.



Des caméras sous-marines HD résistantes aux rayonnements permettent d'inspecter et de contrôler les soudures des cuves des réacteurs de recherche.

(Photos : R. Mazzi/AIEA)



L'AIEA fournit aux pays qui en font la demande le matériel nécessaire ou des conseils d'expert pour aider l'organisme responsable à mener à bien des activités spécifiques dans le cadre d'inspections en service. Ces types d'inspections consistent à examiner les composants importants pour la sûreté et l'utilisation des réacteurs. Des outils spécialisés peuvent surveiller les défauts structurels et dommages causés à l'infrastructure physique d'un réacteur. Ces examens permettent de détecter rapidement et au fil du temps les fissures, autres défauts ou faiblesses dans les structures en béton ou métal du réacteur, à l'aide de caméras sous-marines résistantes aux rayonnements et d'autres outils spécialisés.

L'AIEA prévoit une nouvelle publication pour 2024, provisoirement intitulée *Guidelines for Non-Destructive Examination, In-Service Inspection and On-Line Monitoring Programme for Research Reactors*.

Renforcer la durabilité

Les missions d'évaluation des opérations et de la maintenance des réacteurs de recherche (OMARR) sont un autre type d'examen par des pairs qui aide les pays à gérer les réacteurs vieillissants. Les missions de ce type se concentrent sur des aspects de l'utilisation et de la maintenance qui doivent être pris en compte tout au long de la durée de vie des réacteurs, de la mise en service au déclassement. Grâce aux missions OMARR, les pays peuvent améliorer la durabilité et la fiabilité d'un réacteur de recherche et optimiser l'utilisation des ressources humaines et financières, en

tenant compte des normes de l'AIEA, des bonnes pratiques internationales et des réglementations nationales.

Ces missions indiquent les points à améliorer, traitent des difficultés spécifiques en matière d'utilisation, et créent une plateforme de mise en commun de données d'expérience et de bonnes pratiques entre les experts internationaux et le personnel local. Depuis 2012, des missions OMARR et pré-OMARR ont été menées – ou sont encore en cours – dans les pays suivants : Bangladesh, Chili, États-Unis d'Amérique, Indonésie, Italie, Pologne, Portugal, République démocratique du Congo, République islamique d'Iran, Thaïlande et Ouzbékistan.

Sammy Malaka, responsable de l'utilisation des réacteurs à la South African Nuclear Energy Corporation, a pris part en tant qu'expert à la mission pré-OMARR de 2018 et à la mission d'inspection en service de 2023 au réacteur de recherche TRICO II en République démocratique du Congo. Le réacteur TRICO II, en arrêt prolongé depuis 2004, devrait désormais redémarrer et reprendre ses activités de recherche scientifique, de formation, de production de radio isotopes et de caractérisation des matériaux.

« Ces deux missions, qui ont été une réussite, aideront l'installation TRICO II à mettre en place les structures, systèmes et composants minimaux nécessaires au programme de remise en service du réacteur et à son utilisation à long terme », explique M. Malaka. « Nous avons notamment souligné combien il était important de mettre en place un programme de gestion du vieillissement pour gérer les structures, systèmes et composants et suivre et contrôler les

Qu'entend-on par « vieillissement » des réacteurs de recherche ?

Dans le contexte des réacteurs de recherche, on distingue deux types de vieillissements :

Le **vieillissement** physique est la dégradation de l'état physique des systèmes et des composants du réacteur. Au fil du temps, l'exposition à des environnements agressifs et à des conditions de fonctionnement difficiles, telles que l'irradiation, les agents corrosifs et les vibrations, dégrade certains matériaux et composants.

L'**obsolescence** est un autre type de vieillissement. C'est ce qui se passe lorsque la technologie utilisée pour les ordinateurs et les systèmes de contrôle commande devient obsolète, ou que les règles de sûreté changent et deviennent obsolètes.

projets d'amélioration, de modernisation ou de remplacement, car cela peut être bénéfique à long terme pour l'installation après un programme de remise en service réussi. »

En mai 2023, une mission OMARR a été menée, avec l'aide d'experts d'Australie et de République tchèque, au réacteur de recherche TRR-1/M1 en Thaïlande, utilisé pour la production de radio-isotopes, la recherche développement et la formation théorique et pratique. « Les suggestions formulées par les membres de la mission se sont révélées utiles pour créer et mettre en œuvre des programmes de maintenance systématique

et efficace et de gestion du vieillissement pour le réacteur TRR-1/M1, en vue d'en assurer un meilleur fonctionnement et une utilisation plus efficace », indique Kanokrat Tiyapun, responsable du réacteur à l'Institut thaïlandais de technologie nucléaire. « C'est un élément clé pour le développement durable de la capacité nucléaire – l'expertise technologique et les ressources humaines – et pour l'infrastructure requise pour les futurs programmes nucléaires en Thaïlande. »

Missions d'examen et services consultatifs

L'AIEA propose plus de 30 services d'examen par des pairs et services consultatifs pour aider les pays à renforcer et à améliorer leurs activités liées au nucléaire. Organisés sur demande, les examens par des pairs sont réalisés par des équipes internationales d'experts dirigées par l'AIEA. Les équipes évaluent les infrastructures nationales et pratiques en vigueur dans les pays sur la base des orientations de l'AIEA, des normes de sûreté et des bonnes pratiques internationales. Ces services, souvent appelés « missions », portent sur un large éventail de spécialités, allant de la sûreté nucléaire au secteur de la santé.

L'AIEA propose plusieurs missions d'examen par des pairs pour aider les pays à assurer une utilisation sûre, sécurisée, fiable et durable de leurs réacteurs de recherche. Les missions d'examen par des pairs de l'AIEA consacrées aux réacteurs de recherche sont les suivantes : l'examen intégré de l'infrastructure nucléaire pour les réacteurs de recherche (INIR-RR), l'examen intégré de l'utilisation des réacteurs de recherche (IRRUR), l'évaluation intégrée de la sûreté des réacteurs de recherche (INSARR) et l'évaluation des opérations et de la maintenance des réacteurs de recherche (OMARR). Le Service consultatif international sur la protection physique (IPPAS) lié à la sécurité nucléaire et les questions de sûreté concernant l'exploitation à long terme (SALTO) couvrent aussi bien les réacteurs de recherche que les centrales nucléaires.

Les experts de la mission de l'AIEA et le personnel du Centre de recherche de Řež (CVŘ) discutent des recommandations de l'évaluation intégrée de la sûreté des réacteurs de recherche dans la salle de commande du réacteur de recherche LVR-15 à Řež (République tchèque), en 2023.

(Photo : CVŘ)



Planification des ressources humaines pour les programmes de réacteurs de recherche

Par Sara Kouchehbagh

Pour les pays qui souhaitent mettre en place ou développer un programme de réacteur de recherche, il est généralement indispensable de commencer par élaborer une stratégie de gestion des ressources humaines avant de se lancer dans cet investissement important. L'AIEA peut les aider en ce sens en leur proposant des outils de modélisation, ressources pédagogiques, publications et services d'examen par des pairs.

L'industrie nucléaire exige une grande qualité de planification des ressources humaines, y compris pour les programmes de réacteurs de recherche, et elle a besoin d'une main-d'œuvre bien formée pour assurer la sûreté et la durabilité. Pour autant, elle se heurte à plusieurs obstacles, notamment le départ à la retraite du personnel qualifié et la difficulté à garder ses talents. Les pays et organisations doivent reconnaître qu'il est important d'établir et de mettre en œuvre une stratégie de gestion des ressources humaines pour augmenter la part du personnel qualifié sur le long terme – et parvenir à conserver ce personnel.

« La gestion des ressources humaines est la clé pour mener à bien les projets », explique Cheikh Niane, coordonnateur technique du premier projet de réacteur de recherche du Sénégal et Secrétaire général du Ministère du pétrole et des énergies. « Nous devrions faire le point sur la main-d'œuvre dont nous disposons pour appuyer un programme nucléaire dans le pays et définir le profil des personnes à recruter. »

Le Sénégal fait partie des États qui prévoient de construire leur premier réacteur de recherche. En décembre 2022, pour la première fois, l'AIEA a proposé au pays son nouveau service de formation. À cette occasion, elle a utilisé son outil de modélisation des ressources humaines pour les nouveaux programmes de réacteurs de recherche, qu'elle a créé à partir d'un autre outil de modélisation, fourni par les États-Unis d'Amérique en 2011 et dédié aux ressources humaines de l'électronucléaire. Les pays se servent de son outil pour mieux appréhender leurs besoins en main d'œuvre et le flux des ressources humaines lorsqu'ils envisagent d'entreprendre un programme électronucléaire.

Ce nouvel outil, destiné aux programmes de réacteurs de recherche, aidera les pays à se faire une meilleure idée de leurs besoins en ressources humaines et à saisir l'importance d'une mise en valeur cohérente des effectifs nationaux dans ce domaine. L'atelier au Sénégal a été l'occasion de présenter en pratique le modèle des ressources humaines, d'installer et de configurer l'outil sur les ordinateurs des participants, d'aider ces derniers à acquérir les connaissances de base nécessaires pour la modélisation dynamique et de faire des exercices. L'AIEA a profité de l'occasion pour aborder également les

bonnes pratiques de planification des effectifs, de sûreté et de gestion des données relatives aux ressources humaines.

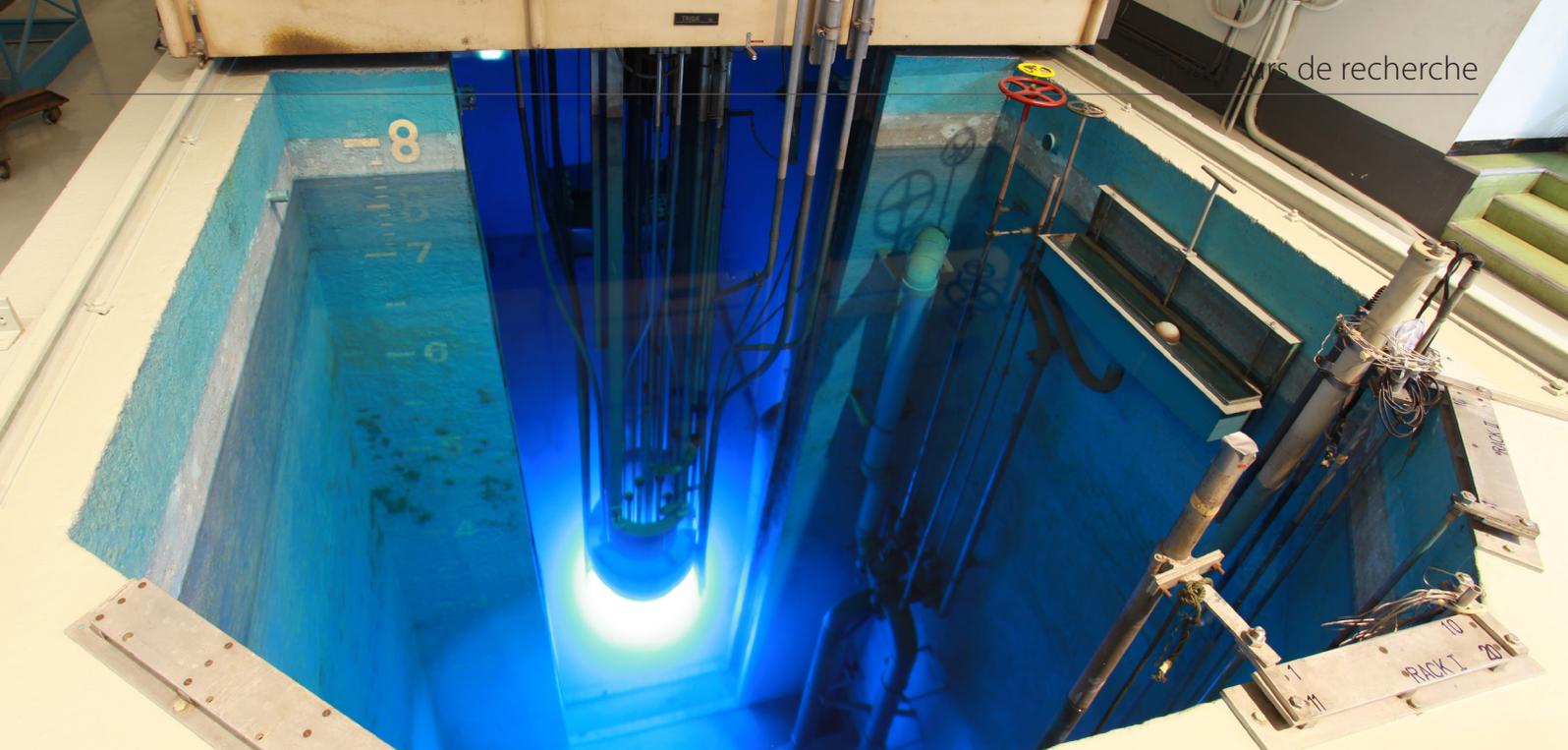
En avril 2023, une formation similaire a été organisée en Thaïlande. Le pays possède un réacteur de recherche opérationnel et prévoit d'en construire deux autres. L'objectif de la formation était d'expliquer au personnel comment utiliser l'outil de modélisation et de formuler des observations sur le plan national relatif aux ressources humaines. L'AIEA a également présenté ses orientations et est revenue sur les efforts de collaboration visant à adapter au mieux l'outil de modélisation des ressources humaines pour l'électronucléaire aux réacteurs de recherche à l'avenir.

« D'après l'approche par étapes de l'AIEA, la mise en valeur des ressources humaines est un élément à ne pas négliger lorsque l'on crée l'infrastructure d'un nouveau réacteur de recherche », explique Kanokrat Tiyaupun, responsable des réacteurs à l'Institut thaïlandais de technologie nucléaire. « Les résultats du modèle seront utilisés lors des échanges avec les décideurs sur les besoins en ressources humaines, les compétences et la capacité du pays à répondre aux exigences d'un nouveau programme de réacteur de recherche. »

Offrir plus de ressources au personnel

L'AIEA propose également des supports pédagogiques en ligne gratuits sur la mise en valeur des ressources humaines, y compris des modules et des publications. Dans sa récente publication intitulée *Managing Human Resources in the Field of Nuclear Energy* [IAEA Nuclear Energy Series No. NG-G-2.1 (Rev. 1)], elle offre des conseils aux décideurs et aux cadres supérieurs chargés de constituer une main d'œuvre compétente et durable. Elle couvre des éléments clés de la gestion des ressources humaines, comme la planification des effectifs, la formation et le développement, et la gestion de la performance – autant d'éléments dont les pays doivent tenir compte dans leur stratégie de gestion. La publication contient des repères clairs pour une gestion efficace des ressources humaines, qui peuvent être utiles aux hauts responsables, aux cadres chargés des ressources humaines et aux supérieurs hiérarchiques. Le document peut également servir aux pays primo accédants, ainsi qu'à ceux qui cherchent à optimiser leur programme nucléaire actuel.

En plus de ces supports facilement accessibles, les pays primo-accédants ont pu se servir de l'approche par étapes de l'AIEA pour élaborer leurs programmes électronucléaires selon une méthode progressive applicable aux programmes de réacteurs de recherche. Lorsqu'un pays choisit de se doter d'un réacteur de recherche en suivant l'approche par



Le TRR-1/M1 est un réacteur de recherche TRIGA Mark III géré par l'Institut thaïlandais de technologie nucléaire (TINT) à Bangkok (Thaïlande). (Photo : TINT)

étapes, il commence par justifier son projet. Puis, si toutes les exigences sont satisfaites à chaque étape, il poursuit jusqu'à la construction et la mise en service du nouveau réacteur.

La mise en valeur des ressources humaines est l'un des 19 éléments infrastructurels de l'approche par étapes de l'AIEA – qui prévoit aussi la création d'un organisme de réglementation et d'un cadre réglementaire ainsi que la mise en place d'un environnement propice à la sûreté et à la sécurité nucléaires. Elle peut être abordée lors d'une mission d'examen intégré de l'infrastructure nucléaire pour les réacteurs de recherche (INIR-RR), qui aide les pays à faire le point sur leur infrastructure nucléaire et à recenser les besoins de développement supplémentaires pour faciliter le bon déroulement du projet, de la planification jusqu'au déclassement.

« Pour tout projet, il est essentiel de disposer des ressources humaines appropriées », indique Petr Chakrov, chef de la Section des réacteurs de recherche de l'AIEA. « La constitution de ces ressources est un processus complexe et dynamique, et notre nouvel outil de modélisation aide les pays à les planifier de manière plus complète et plus réaliste pour leurs programmes de réacteurs de recherche. »

Soutenir les femmes dans le secteur nucléaire

En 2020, l'AIEA a lancé le programme de bourses Marie Skłodowska-Curie (MSCFP) pour aider les futures générations de professionnelles du nucléaire à obtenir un master dans des domaines y afférents. Le programme Lise Meitner, nouvelle initiative de l'AIEA lancée en mars 2023, vise, quant à lui, à proposer aux femmes en début et en milieu de carrière des formations dans des installations nucléaires durant plusieurs semaines..

The IAEA

Marie Skłodowska-Curie
FELLOWSHIP PROGRAMME

The IAEA

Lise Meitner
PROGRAMME

Rapide et efficace :

la nouvelle méthode de mise à jour des guides de sûreté de l'AIEA

Par Wolfgang Picot

Pour faire progresser la science nucléaire, mener des expériences et produire des isotopes essentiels à des fins médicales et autres, il faut des réacteurs de recherche. Les guides de sûreté de l'AIEA sur les réacteurs de recherche jouent un rôle indispensable pour garantir la sûreté de ces installations. Ils constituent l'une des trois séries de publications de la collection Normes de sûreté de l'AIEA – à savoir :

1. les **Fondements de sûreté**, qui définissent les objectifs fondamentaux de sûreté ainsi que les principes de protection et de sûreté dans un langage accessible à un public non spécialisé ;
2. les **Prescriptions générales de sûreté** et les **Prescriptions de sûreté particulières**, qui décrivent les conditions à remplir pour assurer la protection des personnes et de l'environnement, aujourd'hui comme demain, et aident les pays à mettre en place leurs cadres réglementaires nationaux ; et
3. les **Guides généraux de sûreté (GSG)** et les **Guides de sûreté particuliers (SSG)**, qui présentent les bonnes pratiques internationales, en faisant davantage ressortir les meilleures d'entre elles, formulent des recommandations et des orientations pour l'application des Prescriptions de sûreté particulières.

Les guides de sûreté étant très techniques, leur mise à jour est un processus minutieux. Pour commencer, les connaissances tirées des diverses expériences d'utilisation des technologies nucléaires dans le monde y sont intégrées. Les versions provisoires élaborées par l'AIEA sont ensuite examinées par plusieurs comités des normes de sûreté. Elles sont aussi soumises aux pays participants pour qu'ils envoient leurs observations et des informations supplémentaires avant d'être approuvées par la Commission des normes de sûreté.

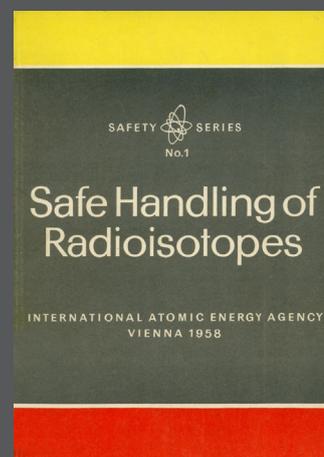
En règle générale, il faut plusieurs années pour mener à bien les révisions, car il s'agit d'un processus complexe nécessitant d'examiner attentivement les progrès des travaux de recherche-développement et des pratiques de sûreté dans le domaine nucléaire et radiologique.

Cela étant, lors de la dernière mise à jour de 11 guides de sûreté sur les réacteurs de recherche, l'AIEA a adopté une nouvelle méthode. Elle a accéléré le processus en les mettant à jour simultanément et a effectué le cycle de publication en 12 mois, entre 2022 et 2023.

« Le fait de réviser les guides de sûreté sur les réacteurs de recherche dans le cadre d'un seul et même projet a permis aux pays participants de mieux harmoniser l'examen du contenu des normes de sûreté et de fournir un retour d'information en temps voulu », explique David Sears, spécialiste principal de la sûreté nucléaire à l'AIEA, qui a dirigé le projet.

65 ANS DE NORMES DE SÛRETÉ DE L'AIEA

L'AIEA peut se prévaloir d'une longue série de normes de sûreté, dont la première, consacrée à la **manipulation sans danger des radio-isotopes** (n° 1 de la collection Sécurité de l'AIEA), qu'elle a publiée en 1958, un an seulement après sa création. Il s'agit également de sa toute première publication. Aujourd'hui, la plupart des utilisateurs peuvent consulter la collection Normes de sûreté, qui est en accès libre sur le site web de l'AIEA.



La finalisation d'un projet aussi complexe dans un délai rapproché est une réussite majeure. « Compte tenu du calendrier serré, ce projet a nécessité une forte mobilisation au sein de l'AIEA, ainsi qu'une attention soutenue et une concentration des efforts de la part des experts, des représentants des pays et des éditeurs techniques de l'AIEA », indique M. Sears. « Il aurait été impossible de le mener à bien sans la détermination et l'engagement de tous ceux qui y ont participé. »

La publication de la catégorie Prescriptions de sûreté particulières sur la sûreté des réacteurs de recherche (n° SSR-3 de la collection Normes de sûreté de l'AIEA) a été mise à jour en 2016. Elle couvre l'ensemble des prescriptions s'appliquant à la sûreté des opérations d'un réacteur de recherche, de la gestion et de la supervision réglementaire au déclassement d'un site en passant par son évaluation, la conception, la construction, les opérations, l'utilisation et les modifications apportées. En outre, elle intègre les enseignements pertinents tirés de l'accident nucléaire de Fukushima Daiichi et ceux tirés de l'expérience et du retour d'information des pays.

La récente mise à jour concernait les 11 guides de sûreté particuliers, lesquels formulent des orientations et présentent les meilleures pratiques en matière d'application des prescriptions de la publication n° SSR-3. Contrairement à cette dernière, qui donne une vue d'ensemble des questions pertinentes en un seul volume, ces guides traitent de sujets techniques précis tels que la maintenance, les essais et les

inspections périodiques, la gestion du cœur et la manutention du combustible, les limites et conditions d'utilisation, l'instrumentation et le contrôle-commande, ainsi que la gestion du vieillissement.

« Il est très difficile de mettre à jour les normes de sûreté relatives aux réacteurs de recherche, car elles sont extrêmement nombreuses », explique Onne Wouters, responsable du réacteur à haut flux (HFR) du Groupe de recherches et de consultations nucléaires aux Pays-Bas. « Les guides de sûreté de l'AIEA s'appliquent à toutes les installations : des plus petits assemblages critiques aux grands réacteurs de recherche tels que le réacteur à haut flux (HFR). »

Nombre de réacteurs de recherche ont été modernisés grâce à l'installation d'appareils électroniques, d'autres sont modifiés pour de nouvelles applications, qui vont au-delà de leur finalité initiale. De nombreux réacteurs de recherche ayant plusieurs dizaines d'années à leur compteur, la gestion du vieillissement gagne aussi en importance. « Les nouvelles technologies électroniques et le vieillissement des réacteurs nous forcent à nous améliorer et à nous adapter en permanence », déclare M. Wouters. « Il est essentiel que les guides de sûreté continuent à refléter ces changements. »

Les normes de sûreté de l'AIEA ne sont pas juridiquement contraignantes, et leur application est laissée à l'appréciation des pays. De nombreux pays qui les appliquent les intègrent dans leur réglementation nationale.



L'AIEA a récemment mis à jour **11 guides de sûreté** sur les réacteurs de recherche.

Protéger les réacteurs de recherche égyptiens des menaces contre la sécurité nucléaire

Par Vasiliki Tafili

Dans tous les types d'installations nucléaires, y compris les réacteurs de recherche, les mesures de sécurité nucléaire offrent une protection contre les actes malveillants et autres actes criminels ou intentionnels non autorisés qui pourraient avoir des conséquences radiologiques ou d'autres effets néfastes. Le Service consultatif international sur la protection physique (IPPAS) de l'AIEA fournit, sur demande, des conseils sur la protection physique des matières nucléaires et d'autres matières radioactives ainsi que des installations et activités associées, y compris les réacteurs de recherche nucléaires.

Lorsque l'Égypte a accueilli une mission IPPAS en 2005, qui a été suivie d'une autre mission d'experts en 2014, l'évaluation indépendante du régime de sécurité nucléaire a mis en évidence le besoin de modernisation des systèmes de protection physique des réacteurs de recherche nationaux.

Pour donner suite aux recommandations de l'IPPAS, l'Égypte, soucieuse de renforcer la sécurité nucléaire de ses réacteurs de recherche (ETRR-1 et ETRR-2), a établi un plan intégré de pérennisation de la sécurité nucléaire (INSSP), mécanisme spécialement conçu par l'AIEA pour recenser et hiérarchiser les besoins nationaux en matière de sécurité.

Amélioration de la protection physique

L'INSSP de l'Égypte comprend un projet d'amélioration de la protection physique qui fait des systèmes de sécurité nucléaire une priorité, pour protéger les deux réacteurs de recherche contre le sabotage, le vol ou toute autre obtention illicite de matières nucléaires, et réduire et limiter autant que possible les conséquences radiologiques de ces actes malveillants. Les deux premières phases de mise en œuvre du projet se sont déroulées entre 2015 et 2020, et la dernière est en cours.

« La complémentarité des différents outils d'assistance du programme de sécurité nucléaire de l'AIEA apparaît clairement dans la mise en œuvre de ce projet en Égypte », explique Elena Buglova, directrice de la Division de la sécurité nucléaire de l'AIEA. « Le point de départ de la coopération avec l'Égypte était la mission IPPAS, mais la mise en œuvre du projet a exigé un large appui technique et financier pour l'élaboration de nouveaux règlements, le renforcement des capacités techniques et, bien sûr, la modernisation des systèmes de protection physique dans le complexe des réacteurs de recherche. »

L'ETRR-1 étant en arrêt de longue durée, c'est le complexe ETRR-2 qui sert d'installation nationale de recherche

Les systèmes de protection physique sont essentiels à la sécurité nucléaire des centrales nucléaires et des réacteurs de recherche. (Photos : D. Calma/AIEA)

nucléaire. Ce dernier est également utilisé à des fins de formation mais sert avant tout à produire des radio-isotopes destinés à des applications médicales, agricoles et industrielles. D'une puissance maximale de 22 mégawatts, l'ETRR-2 est situé au Centre de recherche nucléaire de l'Autorité égyptienne de l'énergie atomique à Inshas, à environ 60 kilomètres du Caire. Il s'agit d'un réacteur de type piscine conçu pour être utilisé dans divers domaines, notamment la physique des neutrons, la science des matériaux et la thérapie par capture par le bore pour le traitement du cancer.

L'ETRR-2 est équipé de systèmes de protection physique améliorés et intégrés. « Des systèmes de sécurité nucléaire modernes et diversifiés sont désormais déployés dans l'installation, et le personnel est doté de l'expertise nécessaire pour les utiliser », explique Mahmoud Gad, chef du Département de la sécurité nucléaire de l'Autorité égyptienne de réglementation nucléaire et radiologique. « Le projet de modernisation est important pour la sécurité nucléaire nationale et a permis de renforcer les systèmes de protection physique du complexe ETRR-2 », ajoute-t-il.

Tout au long de la mise en œuvre du projet, l'Égypte a organisé une série de cours nationaux, auxquels ont participé plus de 80 personnes. Ces cours ont porté sur divers thèmes techniques liés à la sécurité nucléaire, tels que l'autorisation

réglementaire des réacteurs, la rédaction de règlements, les inspections de sécurité informatique et les mesures de prévention et de protection contre les menaces internes.

« Malgré les épreuves comme la pandémie de COVID-19 et grâce aux efforts de toutes les parties prenantes, nous avons réussi à franchir des étapes importantes dans les délais impartis », indique M. Gad. Le projet a bénéficié d'un appui financier, via le Fonds pour la sécurité nucléaire de l'AIEA.

Tout au long des différentes phases du projet, l'objectif de durabilité des résultats de ce dernier (supposant une conception et une mise en œuvre solides, des évaluations régulières de la menace, une bonne gestion des connaissances et une maintenance efficace) a largement contribué au renforcement des capacités de l'Égypte en matière de protection physique. « La durabilité est le moteur des projets d'aide à la sécurité nucléaire que l'AIEA mène aux quatre coins du monde. L'objectif est que les pays maintiennent dans le temps leurs efforts visant à renforcer leur régime de sécurité nucléaire », a déclaré M^{me} Buglova.

L'AIEA travaille sur des projets analogues avec d'autres pays qui estiment avoir besoin d'améliorer les techniques de sécurité nucléaire dans leurs réacteurs de recherche.

De nouveaux outils de l'AIEA aident les pays à prendre des décisions sur la gestion du combustible utilisé des réacteurs de recherche

Par Sara Kouchehbagh

Les utilisations et les bienfaits des réacteurs de recherche sont nombreux et variés (production d'isotopes médicaux, enseignement, recherche, formation, essais de matériaux). Toutefois, la gestion du combustible utilisé, en particulier l'infrastructure et les coûts qui y sont associés, représente un défi majeur pour les pays qui utilisent ces outils puissants ou qui ont l'intention de le faire.

Les nouveaux outils de l'AIEA rendent cette tâche plus facile. L'AIEA a créé des ateliers utilisant ces outils pour aider les pays à prendre des décisions.

À partir d'une feuille de calcul Excel personnalisée, l'outil d'évaluation et d'aide à la décision concernant la partie terminale du cycle du combustible nucléaire (BRIDE) permet aux pays de comparer quantitativement les technologies disponibles et de décider de la meilleure stratégie concernant leur situation. L'outil Estimation du coût du cycle du combustible nucléaire des réacteurs de recherche dans Excel (FERREX) peut ensuite leur fournir des estimations détaillées des coûts se rapportant à la stratégie retenue. Ces deux outils sont disponibles gratuitement sur demande.

L'AIEA a créé des tutoriels illustrant des exemples d'applications de ces outils et a piloté un atelier sur BRIDE

en Malaisie en 2022. FERREX a fait l'objet de discussions dans le cadre d'une activité à l'issue de l'atelier.

« Le stockage définitif de manière appropriée du combustible nucléaire utilisé est essentiel pour garantir la sûreté et BRIDE a fourni des informations précieuses sur la prise de décisions éclairées concernant l'installation de stockage définitif », précise Julia Abdul Karim de l'Agence nucléaire malaisienne, laquelle gère le réacteur de recherche TRIGA PUSPATI, l'unique réacteur nucléaire du pays. « D'après moi, l'outil BRIDE est particulièrement utile pour des pays comme la Malaisie, car il les aide à définir une stratégie pour la future gestion du combustible nucléaire utilisé. »

Après 40 ans d'utilisation du réacteur TRIGA PUSPATI, la Malaisie met en place une stratégie de gestion du vieillissement et un plan de gestion du combustible utilisé. À l'atelier de novembre 2022, l'Agence nucléaire malaisienne a présenté sept scénarios à envisager aux participants. Ces derniers ont ensuite procédé à une application pilote de BRIDE, dressant la comparaison des coûts de chaque activité pour aider à déterminer quel scénario privilégier. Pour la Malaisie, la prochaine étape consiste à élaborer, sur la base des résultats de l'atelier, un plan stratégique d'évacuation du combustible utilisé qui sera ensuite examiné par le Gouvernement malaisien et les communautés techniques.

Le réacteur de recherche malaisien TRIGA PUSPATI est en service depuis 1982.

(Photo : Agence nucléaire malaisienne)



« Cet atelier nous a permis d'aider la Malaisie à faire le tri parmi les nombreuses possibilités d'évacuation des matières nucléaires résiduelles », explique John Dewes, ingénieur nucléaire à l'AIEA, qui a dirigé l'atelier. « Nous avons examiné non seulement les coûts du cycle de vie de chaque possibilité, mais aussi les aspects non économiques, tels que l'impact environnemental, la disponibilité des ressources humaines, la préparation juridique et réglementaire, ainsi que le soutien politique et celui du public. Réfléchir simultanément à tous ces facteurs s'avère très complexe, mais l'outil BRIDE évalue méthodiquement chaque aspect et combine ensuite les résultats. »

Cycle du combustible d'un réacteur de recherche

En octobre 2023, 224 réacteurs de recherche étaient en service dans 54 pays, et 25 autres étaient en projet ou en cours de construction. Le cycle du combustible d'un réacteur de recherche ressemble à celui de la plupart des réacteurs nucléaires : il commence par la fabrication de combustible et se termine par la gestion et le stockage définitif du combustible usé. L'entreposage temporaire, le retraitement et le stockage définitif du combustible usé qualifié de déchet font partie du cycle du combustible d'un réacteur de recherche, à l'instar de celui d'un réacteur de puissance. En fin de compte, il revient à chaque pays de décider de la meilleure méthode de gestion de son combustible usé.

L'AIEA propose des scénarios adaptés aux besoins des pays en fonction de leur situation. Le document publié récemment intitulé *Research Reactor Spent Fuel Management: Options and Support to Decision Making* (IAEA Nuclear Energy Series No. NF-T-3.9) – fruit de plusieurs projets de recherche coordonnée – fournit des informations supplémentaires sur les méthodes disponibles concernant la gestion du combustible usé des réacteurs de recherche et traite de la méthodologie en matière de décision pour aider les responsables chargés de choisir entre plusieurs possibilités.

Cette publication aide les pays à déterminer l'approche qui est à privilégier en fonction de la situation qui leur est propre et présente des outils d'aide à la décision de l'AIEA qu'il convient de prendre en considération. Y figurent également des exemples de techniques actuellement utilisées par certains pays. La publication fournit également des informations sur BRIDE et FERREX et comprend des études de cas et des cours pour aider les utilisateurs.

« Ces outils et ateliers de l'AIEA facilitent l'acquisition de connaissances qui permettent au pays de parvenir à sa propre conclusion sur ce qui lui convient le mieux », déclare M. Dewes. « Des pays comme la Malaisie peuvent alors trouver eux-mêmes la meilleure solution, tout en obtenant l'adhésion indispensable de toutes les parties prenantes concernées. »



L'expérience du Brésil : des réacteurs de recherche au service de la société

Par José Augusto Perrotta



José Augusto Perrotta travaille dans le domaine de la technologie des réacteurs nucléaires depuis 1978. M. Perrotta a rejoint l'Institut de recherches énergétiques et nucléaires (IPEN) de la Commission nationale brésilienne de l'énergie nucléaire en 1983 et a pris sa retraite de l'IPEN en juin 2022. Il est chercheur émérite à l'IPEN. Au cours de sa

carrière à l'IPEN, il a exercé plusieurs fonctions dans les domaines techniques, de gestion et de coordination, notamment en tant que chef de la division d'ingénierie du cœur du réacteur nucléaire, chef du centre d'ingénierie nucléaire, coordonnateur du programme sur les piles à hydrogène et coordonnateur technique de l'entreprise brésilienne de réacteurs polyvalents.

L'importance des réacteurs de recherche dans le monde peut être illustrée par l'idée que la science, la technologie, l'innovation et la société sont intimement liées. La recherche et les découvertes scientifiques conduisent à la mise au point de nouvelles technologies, stimulant ainsi l'innovation qui, en fin de compte, profite à la société sur les plans de la santé, de l'énergie, de l'agriculture, de l'industrie et du développement économique. Ceci est particulièrement vrai pour les réacteurs de recherche.

Au travers de la médecine nucléaire, utilisée pour diagnostiquer et traiter le cancer et les maladies cardiovasculaires, l'on peut directement tirer parti des bienfaits qu'apportent les réacteurs de recherche. Chaque année, deux millions d'interventions de médecine nucléaire sont

réalisées au Brésil, lesquelles dépendent de la production de radio-isotopes dans les réacteurs de recherche. C'est du moins ce que l'arrêt, en 2009, du réacteur NRU du Canada, plus gros fournisseur mondial d'isotopes médicaux, a permis de révéler. À l'instar de nombreux autres pays, le Brésil a fortement pâti de la pénurie mondiale de molybdène 99 (^{99}Mo), utilisé pour l'imagerie diagnostique, qui s'est ensuivie. La médecine nucléaire brésilienne consomme 5 % de la production mondiale de ^{99}Mo . Or, le Brésil était devenu dépendant d'autres pays pour l'approvisionnement de cet isotope.

À la suite de cette crise d'approvisionnement, la décision a été prise d'entamer la construction d'un nouveau réacteur de recherche polyvalent brésilien dans la ville d'Iperó, à environ 120 kilomètres de São Paulo. Il s'agit de l'un des quelque 25 nouveaux réacteurs de recherche actuellement en projet ou en construction dans le monde. Ce nouveau réacteur est conçu pour produire des radio-isotopes à des fins médicales et industrielles ; il sera également utilisé pour des essais d'irradiation du combustible et des matières à l'appui du programme d'énergie nucléaire du Brésil et pour fournir des faisceaux de neutrons à des fins de recherche scientifique et appliquée et d'innovation.

De nombreuses personnes au Brésil – et ailleurs – bénéficieront des possibilités offertes par les réacteurs de recherche, que ce soit parce qu'elles ont besoin de radiopharmaceutiques ou en raison de l'accroissement des connaissances et des compétences technologiques développées pour le bien-être des personnes et l'amélioration de la société.

Le Brésil n'est pas très dépendant du nucléaire en ce qui concerne la satisfaction de ses besoins énergétiques, l'essentiel de son électricité provenant de l'énergie hydro-électrique, de l'énergie éolienne et du biogaz. Néanmoins, il a été un pionnier dans la recherche sur la technologie nucléaire depuis les années 1950. Le Brésil a été le premier pays dans l'hémisphère Sud à inaugurer un réacteur nucléaire

de recherche – l'IEA-R1, réacteur de type piscine de 2 mégawatts. Ce réacteur a été mis en service en 1957 dans l'actuel Institut de recherches énergétiques et nucléaires (IPEN) de São Paulo. Il est toujours utilisé aujourd'hui pour la production de radio-isotopes à des fins médicales ou de recherche scientifique. En 1960, le réacteur de recherche TRIGA IPR-1 de 200 kilowatts a été mis en service à Belo Horizonte ; en 1965, le réacteur de recherche Argonaute de 500 watts a commencé à fonctionner à l'Institut de génie nucléaire de Rio de Janeiro ; et en 1988, l'installation critique IPEN/MB-01 est entrée en service à São Paulo.

Ces réacteurs de recherche ont joué un rôle de catalyseur dans l'essor des centres brésiliens de recherche sur les technologies nucléaires en raison de leurs applications pluridisciplinaires dans différents domaines, de la santé à l'ingénierie. Ces installations étant situées dans des établissements universitaires, les étudiants et les chercheurs y ont accès pour mener des recherches et suivre des formations spécialisées. Au cours des dernières décennies, les réacteurs de recherche du Brésil ont permis aux scientifiques et aux ingénieurs du pays de mener des recherches scientifiques et techniques dans de nombreux domaines, notamment la recherche sur les matières utilisées dans les réacteurs nucléaires et l'application des neutrons dans l'industrie, l'agriculture et l'environnement. Les autres domaines de recherche portent notamment sur les possibilités qu'offrent l'uranium et le thorium et leurs divers composés dans le cycle du combustible nucléaire, la mise au point de combustibles nucléaires, le traitement et l'entreposage des déchets radioactifs, la métrologie nucléaire et la conception de réacteurs nucléaires et d'autres installations nucléaires et d'irradiation.

Les réacteurs de recherche servant de base aux activités nucléaires du pays, le Brésil participe aux nombreuses nouvelles évolutions très prometteuses dans le secteur nucléaire. Des recherches sont menées dans des domaines tels que la fusion, l'utilisation de lasers de haute intensité,

les microréacteurs pour l'exploration spatiale et les petits réacteurs modulaires (PRM). Le Brésil a mis au point un combustible à base d'uranium faiblement enrichi destiné aux PRM et aux réacteurs de recherche. Des piles à hydrogène ont également été mises au point dans le cadre de la recherche de solutions énergétiques propres.

Le Brésil adhère au Code de conduite pour la sûreté des réacteurs de recherche de l'AIEA et est doté d'une bonne organisation au niveau national en ce qui concerne la sûreté nucléaire, grâce à une nouvelle autorité indépendante de réglementation nucléaire et à la mobilisation des organismes responsables. À cet égard, l'AIEA joue un rôle très important, car les services qu'elle fournit, tels que les normes de sûreté et les documents techniques de l'AIEA, les ateliers, les cours, les colloques, la coopération technique et les missions d'examen, aident le Brésil à instaurer un environnement caractérisé par une forte culture de la sûreté et de la sécurité dans ses installations nucléaires.

Alors que l'IPEN continue de fournir une grande capacité de recherche et de développement, le programme d'études supérieures en technologie nucléaire de l'Université de São Paulo revêt une importance primordiale pour ce qui est de constituer la prochaine génération de professionnels brésiliens de la technologie nucléaire. À ce jour, plus de 3 300 étudiants ont obtenu un diplôme de master ou de doctorat auprès de l'université et, chaque année, environ un millier d'étudiants poursuivent des études à différents niveaux à l'IPEN. Le programme de technologie nucléaire attire aussi bien des étudiants que des étudiantes, ces dernières représentant 46 % de l'effectif total en 2022. Cependant, malgré ces résultats, la disponibilité des ressources humaines reste l'un des plus grands défis à relever pour l'avenir des réacteurs de recherche et du domaine nucléaire en général, car les besoins dépassent les ressources en place. Nous devons attirer davantage de jeunes vers les professions nucléaires. Sans l'être humain, rien ne peut être accompli.

L'AIEA et la FAO lancent l'initiative « L'atome pour l'alimentation » (Atoms4Food) destinée à améliorer la sécurité alimentaire dans le monde par un recours accru aux techniques nucléaires



L'initiative Atoms4Food, lancée par l'AIEA et la FAO, aidera les pays à appliquer des techniques nucléaires innovantes de diverses manières pour améliorer la sécurité alimentaire. (Photo : K. Laffan/AIEA)

Le 18 octobre 2023, à Rome, à l'occasion du Forum mondial de l'alimentation, l'AIEA et l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) ont lancé l'initiative « L'atome pour l'alimentation » (Atoms4Food), afin de contribuer à renforcer la sécurité alimentaire et à lutter contre l'augmentation du nombre de personnes souffrant de la faim dans le monde.

L'idée est d'aider les pays à employer des techniques nucléaires innovantes pour accroître la productivité agricole, réduire les pertes alimentaires, garantir la sécurité sanitaire des aliments, améliorer la nutrition et s'adapter aux défis du changement climatique.

« Nous vivons une époque sans précédent, où la faim et la malnutrition gagnent du terrain, menaçant l'humanité », ont déclaré Rafael Mariano Grossi, Directeur général de l'AIEA, et Qu Dongyu, Directeur général de la FAO, dans un communiqué conjoint. « L'initiative Atoms4Food vise à fournir aux États Membres des solutions

inévitables adaptées à leurs propres besoins et à leur situation, fondées sur des techniques nucléaires et d'autres technologies de pointe. »

Le monde est confronté à de vastes défis en matière de sécurité alimentaire et de nutrition. En 2022, entre 691 et 783 millions de personnes ont souffert de la faim et 3,1 milliards – soit plus de 40 % de la population mondiale – n'avaient pas les moyens d'avoir une alimentation saine, alors que, par ailleurs, l'obésité progresse dans toutes les régions du monde.

« Les phénomènes climatiques extrêmes toujours plus nombreux anéantiront davantage de récoltes, alors même que la demande alimentaire augmente. Nous devons mettre à profit tous les outils dont nous disposons pour produire davantage », a jugé M. Grossi. « La science nucléaire offre des moyens innovants incroyables pour produire des cultures plus résistantes, plus saines et plus sûres et protéger les aliments dont nous avons besoin pour vivre. »

L'initiative Atoms4Food bénéficie de toute l'expérience que l'AIEA et la FAO ont conjointement accumulée au fil de quelque 60 années d'efforts déployés pour aider les pays à utiliser les technologies nucléaires et isotopiques en vue d'améliorer la sécurité alimentaire, la nutrition et la sécurité sanitaire des aliments.

Les techniques nucléaires peuvent être utilisées de différentes manières au service de la sécurité alimentaire, notamment pour accélérer le processus naturel de mutation des plantes, l'objectif étant de mettre au point des cultures plus résistantes aux maladies et aux variations climatiques. Les techniques nucléaires et isotopiques peuvent également servir à évaluer l'utilisation des nutriments et de l'eau dans le sol, à diagnostiquer et à caractériser les agents pathogènes chez les animaux, à déterminer les sources de contamination de l'eau et à étudier les différentes formes de malnutrition. La technique nucléaire de l'insecte stérile, qui cible les

populations d'insectes, permet de limiter l'utilisation d'insecticides dans l'intérêt de l'agriculture et de l'élevage. Quant aux denrées alimentaires, leur irradiation les protège contre les agents

pathogènes et augmente leur durée de conservation, ce qui contribue à la sécurité alimentaire.

Des travaux de recherche bien adaptés seront au cœur de cette initiative, qui se

concentrera sur les besoins particuliers des pays en proposant des innovations et des solutions concrètes.

– Par Sinead Harvey

Le centre de formation à la sécurité nucléaire de l'AIEA entend renforcer l'expertise en matière de lutte contre le terrorisme nucléaire

L'AIEA a ouvert un centre de formation à la sécurité nucléaire unique en son genre (la toute première installation internationale de ce type) afin de soutenir les efforts croissants déployés pour lutter contre le terrorisme nucléaire mondial.

Le 3 octobre 2023, le Directeur général de l'AIEA, Rafael Mariano Grossi, a officiellement ouvert le Centre de formation et de démonstration en matière de sécurité nucléaire de l'AIEA lors d'une cérémonie qui s'est déroulée aux Laboratoires de Seibersdorf (Autriche) de l'AIEA en présence de représentants de 45 pays et territoires.

Dans les plus de 2 000 mètres carrés d'infrastructures et d'équipements techniques spécialisés du centre, les participants aux formations pourront se familiariser avec la protection physique des matières nucléaires et autres matières radioactives, ainsi qu'avec la détection d'actes criminels mettant en jeu des matières et des installations nucléaires et l'intervention face à de tels actes.

« La sécurité nucléaire est l'un des aspects les plus importants de notre travail, qui consiste à veiller à ce que des matières nucléaires ne tombent jamais entre de mauvaises mains », a déclaré M. Grossi. « Le centre international d'excellence pour la sécurité nucléaire sera le lieu où des experts du monde entier en sécurité nucléaire et en protection physique des matières nucléaires pourront venir se perfectionner. »

Ces dernières années, les demandes de formation à la sécurité nucléaire adressées à l'AIEA ont augmenté du fait du nombre croissant de pays qui entreprennent des programmes électronucléaires et de l'entrée en vigueur, en 2016, de l'Amendement à la Convention sur la protection physique



Le Centre de formation et de démonstration en matière de sécurité nucléaire de l'AIEA a ouvert ses portes en octobre 2023. (Photo : K. Laffan/AIEA)

des matières nucléaires (CPPMN) – seul instrument international juridiquement contraignant en matière de protection physique des matières nucléaires.

Le nouveau centre dispose d'environnements de simulation, d'outils de réalité virtuelle et de logiciels avancés répartis sur plus de deux étages. Il permettra de mener des exercices pratiques sur les systèmes de sécurité nucléaire au service de la protection physique des installations nucléaires, la sécurité de l'information et la cybersécurité, la criminalistique nucléaire, les grandes manifestations publiques et d'autres domaines de travail liés à la sécurité nucléaire.

« Nous offrons aux pays les outils qui leur permettront d'aborder le nucléaire plus efficacement, de manière plus sûre et plus sécurisée », a précisé le Directeur général Grossi.

En octobre, le centre a accueilli les premiers participants à un cours sur la gestion de la sécurité des matières

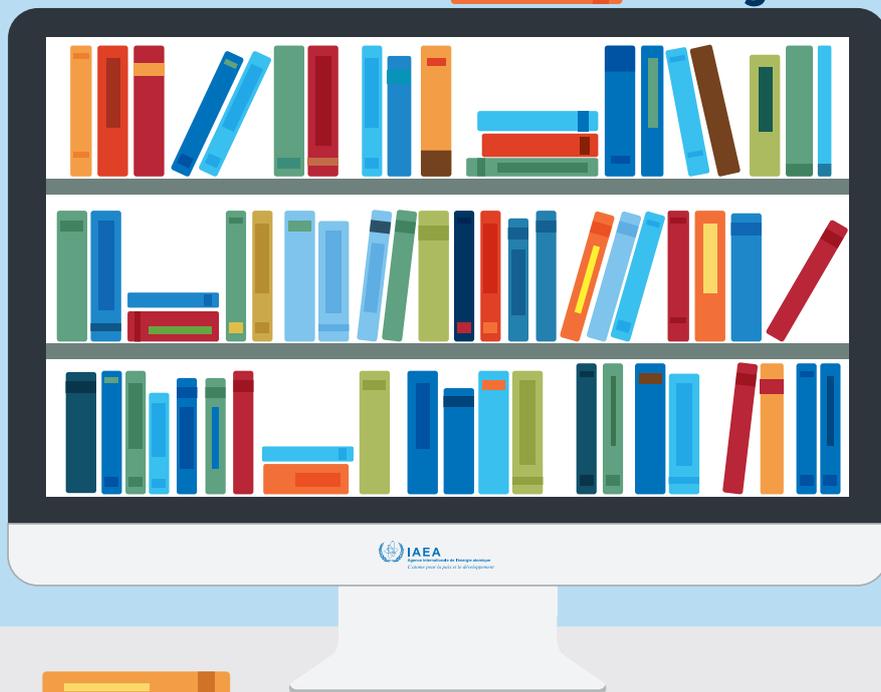
radioactives, l'un des 23 cours et ateliers proposés.

« Grâce à la construction de ce nouveau centre, l'AIEA peut proposer des activités de formation de choix utilisant des équipements spécialisés modernes, des outils de simulation générée par ordinateur et des méthodes de formation avancées pour combler les lacunes existantes », a affirmé Elena Buglova, directrice de la Division de la sécurité nucléaire de l'AIEA.

Le centre fait partie d'un bâtiment polyvalent construit grâce à un financement extrabudgétaire de plus de 18 millions d'euros provenant de 15 donateurs, ainsi qu'à des contributions en nature, afin de permettre à l'AIEA de mieux répondre aux besoins des pays en matière de renforcement des capacités dans le domaine de la sécurité nucléaire.

– Par Sinead Harvey

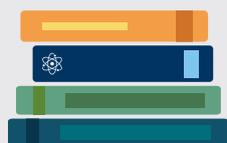
Publications de l'AIEA gratuites en ligne



télécharger ici



<https://www.iaea.org/fr/publications>



Pour commander un ouvrage, veuillez contacter : sales.publications@iaea.org

TÉLÉCHARGER

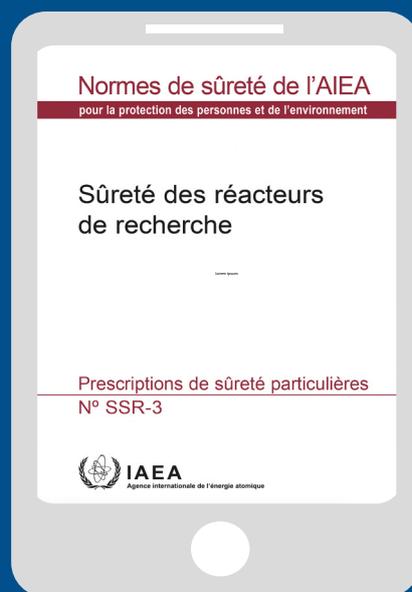
Sûreté des réacteurs de recherche

et autres publications de l'AIEA portant sur les réacteurs de recherche :

Préparation d'une étude de faisabilité pour de nouveaux programmes de réacteurs de recherche

Commissioning of Research Reactors

Post-irradiation Examination Techniques for Research Reactor Fuels



www.iaea.org/fr/bulletin/64-4

Créons ensemble

des systèmes énergétiques à zéro émission nette

ATOMS4 NETZERO

L'AIEA invite les États Membres, les acteurs industriels, les institutions financières et autres parties prenantes à travailler avec elle et à partager leur expertise, leurs outils de modélisation, leurs connaissances industrielles, leurs activités de sensibilisation et leurs ressources financières.

www.iaea.org/fr/Atoms4NetZero



Le Bulletin de l'AIEA est disponible en ligne à l'adresse
www.iaea.org/fr/bulletin

Pour plus d'informations sur l'AIEA et ses activités, rendez-vous sur le site
www.iaea.org/fr

ou suivez-nous sur

