

IAEA BULLETIN

AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE

Avril 2016 • www.iaea.org/bulletin



**Déclassement et
remédiation de l'environnement**



LE BULLETIN DE L'AIEA

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

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

Rédacteur : Miklos Gaspar

Rédactrice en chef : Aabha Dixit

Collaboratrices à la rédaction : Nicole Jawerth,
Laura Gil Martinez

Conseillers techniques : Vladan Ljubenov,
Vladimir Michal, Horst Monken-Fernandes, Patrick
O'Sullivan, Gerhard Proehl, John Rowat
Conception et production : Ritu Kenn

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

Des extraits des articles du Bulletin peuvent être utilisés librement à condition que la source soit mentionnée. Lorsqu'il est indiqué que l'auteur n'est pas fonctionnaire de l'AIEA, l'autorisation de reproduction, sauf à des fins de recension, doit être sollicitée auprès de l'auteur ou de l'organisation d'origine.

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

Couverture :

Résultat de la remédiation environnementale du site d'extraction d'uranium de Bellezane, dans le Limousin (France).

(Photo : AREVA/France)



L'Agence internationale de l'énergie atomique a pour mission de prévenir la dissémination des armes nucléaires et d'aider tous les pays – en particulier ceux du monde en développement – à tirer parti de l'utilisation pacifique, sûre et sécurisée de la science et de la technologie nucléaires. Créée en tant qu'organisme autonome des Nations Unies en 1957, l'AIEA est la seule organisation du système de l'ONU à avoir les compétences requises dans le domaine des technologies nucléaires. Ses laboratoires spécialisés uniques aident au transfert de connaissances et de compétences à ses États Membres dans des domaines comme la santé humaine, l'alimentation, l'eau et l'environnement. L'AIEA sert aussi de plateforme mondiale pour le renforcement de la sécurité nucléaire. Elle a mis en place la collection Sécurité nucléaire, qui rassemble des publications d'orientations sur la sécurité nucléaire faisant l'objet d'un consensus international. Ses travaux visent en outre à réduire le risque que des matières nucléaires et d'autres matières radioactives tombent entre les mains de terroristes ou de criminels, ou que des installations nucléaires soient la cible d'actes malveillants. Les normes de sûreté de l'AIEA fournissent un système de principes fondamentaux de sûreté et sont l'expression d'un consensus international sur ce qui constitue un degré élevé de sûreté pour la protection des personnes et de l'environnement contre les effets néfastes des rayonnements ionisants. Elles ont été élaborées pour tous les types d'installations et d'activités nucléaires destinées à des fins pacifiques, notamment le déclassé. En outre, l'AIEA vérifie, au moyen de son système d'inspections, que les États Membres respectent leurs engagements, conformément au Traité sur la non-prolifération des armes nucléaires et à d'autres accords de non-prolifération, de n'utiliser les matières et installations nucléaires qu'à des fins pacifiques. Le travail de l'AIEA est multiple et fait intervenir un large éventail de partenaires au niveau national, régional et international. Ses programmes et ses budgets sont établis sur la base des décisions de ses organes directeurs – le Conseil des gouverneurs, qui compte 35 membres, et la Conférence générale, qui réunit tous les États Membres. L'AIEA a son siège au Centre international de Vienne. Elle a des bureaux locaux et des bureaux de liaison à Genève, New York, Tokyo et Toronto. Elle exploite des laboratoires scientifiques à Monaco, Seibersdorf et Vienne. En outre, elle apporte son appui et contribue financièrement au fonctionnement du Centre international Abdus Salam de physique théorique à Trieste (Italie).

Déclassement et remédiation : améliorer la sûreté du public et de l'environnement

Par Yukiya Amano

La science et la technologie nucléaires trouvent de nombreuses applications pacifiques utiles, notamment la production d'énergie et celle de radio isotopes utilisés dans le traitement du cancer. Toutes les matières nucléaires doivent être soigneusement évacuées lorsqu'elles arrivent en fin de vie utile, de même que les installations qui les abritent.

Pour les pays qui lancent un nouveau programme électronucléaire, des plans préliminaires relatifs au déclassement ultime des réacteurs et à l'évacuation sûre de matières telles que le combustible nucléaire usé sont maintenant élaborés avant même que la première brique soit posée. Des plans de financement de ces opérations sont aussi établis à l'avance. Cependant, il n'en a pas toujours été ainsi. On compte aujourd'hui plus de 400 réacteurs nucléaires en exploitation dans le monde, or lorsque nombre d'entre eux ont été construits, il n'y avait pas de telles exigences. Actuellement, de nombreux pays conçoivent ou mettent en œuvre des plans pour le déclassement de ces installations. L'AIEA, forte de ses compétences au niveau international et de près de soixante années d'expérience, leur apporte son concours.

Le présent numéro du Bulletin de l'AIEA met en relief les bonnes pratiques observées dans le monde. En Espagne, le déclassement de la première centrale nucléaire du pays avance conformément au calendrier et au budget prévus (page 7), tandis que dans la région française du Limousin, la remédiation de l'environnement a permis de transformer d'anciens sites d'extraction d'uranium en espaces d'agrément destinés au public (page 14). En Asie centrale, l'AIEA aide des gouvernements à assainir de manière sûre des déchets contaminés résultant de l'extraction d'uranium, d'un volume estimé à un milliard de tonnes (page 12).

Les technologies innovantes et les tendances en matière de déclassement et de remédiation de l'environnement sont aussi passées en revue (page 22), et le lecteur aura un aperçu du travail d'un responsable du déclassement (page 10). Nous expliquons les difficultés que pose le déclassement des réacteurs de recherche, qui, contrairement aux centrales nucléaires, sont souvent implantés dans des zones urbaines (page 16).

Savoir-faire

Le partage des connaissances est une composante essentielle de la planification du déclassement et de la remédiation de l'environnement. Les propriétaires d'installations et de sites peuvent s'appuyer sur l'expérience de leurs homologues, dans d'autres pays, pour élaborer des plans améliorés et plus complets pour l'avenir. L'AIEA fournit un cadre à cette coopération. Notre rôle consiste aussi, et c'est important, à élaborer des normes de sûreté et des orientations sur la sécurité nucléaire pour le déclassement et la gestion des déchets nucléaires.



Yukiya Amano,
Directeur général de l'AIEA

Les pays et les exploitants d'installations doivent toujours être préparés à l'éventualité d'une contamination radioactive résultant d'un accident nucléaire ou radiologique ou d'un incident industriel. Une planification appropriée permet d'intervenir rapidement et efficacement en cas d'incident et de réduire au minimum les effets néfastes de la contamination sur les personnes et l'environnement. Au cours des cinq dernières années, l'AIEA a fourni au Japon un appui important dans ce domaine (page 8).

J'espère que la présente édition du Bulletin de l'AIEA permettra de mieux faire connaître les questions traitées et sera utile aux participants à la Conférence internationale de l'AIEA sur la progression de la mise en œuvre des programmes de déclassement et de remédiation de l'environnement, qui se tiendra à Madrid du 23 au 27 mai.



(Photos : C. Brady, P. Pavlicek (AIEA))

Avant-propos



1 Déclassement et remédiation : améliorer la sûreté du public et de l'environnement

Déclassement et remédiation de l'environnement



4 Tour d'horizon du déclassement et de la remédiation de l'environnement



6 Espagne : un travail planifié dans les moindres détails pour un projet de déclassement réussi



8 Entretien en coulisse avec un responsable du déclassement



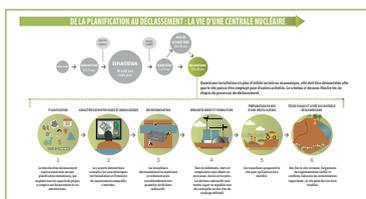
10 Remédiation environnementale d'anciens sites de production d'uranium en Asie centrale



12 Des mines d'uranium aux étangs poissonneux : la remédiation de l'environnement dans le Limousin



14 Des missions de l'AIEA évaluent les activités de déclassement menées à la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi



16 De la planification au déclassé : la vie d'une centrale nucléaire



18 Ne pas prendre à la légère le déclassé des réacteurs de recherche



20 Diffuser le savoir et renforcer la sûreté : les services de l'AIEA dans le domaine du déclassé et de la remédiation de l'environnement



22 Nouvelles technologies de déclassé et de remédiation

Dans le monde

24 Déclassé des installations nucléaires : l'exemple de l'Allemagne

— Par Boris Brendebach

26 Déclassé et remédiation environnementale des installations nucléaires : tendances actuelles

— Par Juan José Zaballa Gómez

Infos AIEA

28 Développement de l'infrastructure nucléaire : les difficultés communes aux pays primo-accédants

29 Prescriptions de sûreté et procédures d'autorisation applicables aux petits réacteurs modulaires : l'AIEA organise son premier atelier à l'intention des organismes de réglementation

30 Stockage définitif de sources radioactives : l'AIEA franchit une étape

Tour d'horizon du déclassement et de la remédiation de l'environnement

Par Irena Chatzis



Personnel de déclassement découpant une pièce de gros équipement métallique dans une installation nucléaire.

(Photo : Sellafield Ltd./UK)

Le déclassement nucléaire et la remédiation de l'environnement ont un objectif commun : réduire l'exposition des personnes et de l'environnement aux rayonnements sur des sites dont l'utilisation est soumise à des restrictions en raison de leur niveau de radioactivité.

Le déclassement est une activité planifiée pour la fin de la vie des installations dans lesquelles sont menées des activités nucléaires ou liées au nucléaire qui ont été autorisées par un organisme de réglementation. Il englobe toutes les activités nécessaires pour dégager ces installations du contrôle réglementaire et libérer ainsi le site pour d'autres utilisations (voir l'encadré).

Déclassement

Le déclassement est une étape normale du cycle de vie de la quasi-totalité des installations industrielles. Lorsqu'une installation n'a plus d'utilité sociale ou économique, elle doit être démantelée et son site mis à disposition pour d'autres utilisations.

Les prescriptions relatives au déclassement devraient être prises en compte lors de la conception et de la planification des installations. Le plan de déclassement et les prévisions de coûts doivent être établis à l'avance afin de s'assurer de la disponibilité de ressources financières suffisantes.

La remédiation de l'environnement consiste, quant à elle, à réduire l'exposition aux rayonnements due à la contamination des terres, des sols et des eaux souterraines résultant d'activités passées ayant mis en jeu des matières radioactives à des fins civiles ou militaires (voir l'encadré en page suivante).

Le contrôle en vue de la sûreté

L'objectif du déclassement et de la remédiation de l'environnement est d'abaisser suffisamment la radioactivité résiduelle pour que les sites puissent être utilisés à n'importe quelle autre fin, sans restriction. Cependant, dans certains cas, cela n'est pas possible, et l'utilisation future des terrains peut être soumise à des restrictions. Par exemple, après le déclassement, certains sites peuvent être réutilisés pour des activités industrielles non nucléaires, mais ils ne peuvent être habités. D'anciens sites d'extraction d'uranium peuvent être libérés pour servir de réserves naturelles ou pour des activités de loisir.

Le déclassement et la remédiation de l'environnement sont des projets industriels importants, durant lesquels il faut assurer la sûreté du personnel, de la population locale et de l'environnement face aux risques, radiologiques ou classiques. Par conséquent, la mise en place d'un cadre juridique et réglementaire approprié et une formation adéquate du personnel, tant à la mise en œuvre qu'au contrôle réglementaire, font partie des conditions préalables nécessaires pour assurer la sûreté.

Gestion des déchets radioactifs

Une prescription importante consiste à mettre en place un système bien coordonné de gestion des déchets résultant du déclassement et de la remédiation de l'environnement. Le

Le plan de déclassement et les prévisions de coûts évoluent au cours de la vie utile de la centrale et se précisent à mesure que la fin de la vie de la centrale approche.

Cependant, ces plans n'existent pas pour plusieurs installations construites dans les débuts de l'industrie nucléaire. Pour ces centrales anciennes, on ne dispose parfois pas non plus de dossiers complets sur leur configuration ni de données détaillées concernant leur exploitation passée, ce qui rend le processus de déclassement encore plus complexe.

déclassement engendre en général une grande quantité de matières de faible activité. Suivant les matières et la réglementation nationale, une grande partie des déchets sont susceptibles d'être stockés de façon définitive dans des installations en surface ou à faible profondeur satisfaisant aux normes internationales de sûreté. De telles installations existent déjà dans plusieurs pays. Dans d'autres, les déchets doivent être entreposés de manière temporaire jusqu'à ce qu'une solution à long terme soit trouvée.

Il est possible de réduire de manière importante la quantité de déchets radioactifs en décontaminant les systèmes des centrales avant leur démantèlement. De plus, certains pays possèdent des installations permettant de recycler les déchets métalliques, par exemple par fusion. Les déchets de haute activité et les composants à longue période devront généralement être placés dans des dépôts construits à grande profondeur.

En ce qui concerne la remédiation de l'environnement, les quantités de déchets peuvent être bien plus grandes si, par exemple, une partie du sol doit être enlevée, puis évacuée en tant que déchet. Il existe, dans ce cas aussi, des moyens d'en réduire le volume, par exemple en séparant les composants du sol selon leur niveau de contamination, élevé ou faible.

Financement

Un financement suffisant est un facteur clé dans les projets de déclassement et de remédiation de l'environnement, qui sont généralement très coûteux. Une proportion importante des sites qui nécessitent un déclassement ou une remédiation étant la propriété de l'État, la mise en œuvre de ces activités est financée au moyen des budgets nationaux. Souvent, le montant des fonds alloués aux activités d'assainissement de l'environnement dépend des priorités du gouvernement.

Pour ce qui est des centrales commerciales, le financement du déclassement est généralement de la responsabilité du propriétaire. Habituellement, soit il est assuré au moyen d'un fonds conçu à cette fin, soit, dans certaines grandes entreprises, il l'est directement au moyen des produits d'exploitation et du flux de trésorerie.

Situation actuelle

Bien que certains pays aient fait des progrès considérables, nombreux sont ceux qui se heurtent à des difficultés importantes dans la mise en œuvre de leurs programmes de déclassement et de remédiation de l'environnement.

De nos jours, avant de lancer un nouveau projet, il est impératif de prévoir systématiquement la gestion de l'ensemble du cycle de vie de l'installation nucléaire.



Application d'une double méthode pour recouvrir et évacuer des résidus de traitement d'uranium.

[Photo : Wismut GmbH (Allemagne)]

Remédiation de l'environnement

La remédiation de l'environnement vise à réduire l'exposition aux rayonnements dus à la contamination d'un sol, d'installations d'entreposage de déchets ou d'autres infrastructures, d'eaux souterraines ou d'eaux de surface. Elle a pour but de protéger les personnes et l'environnement des possibles effets néfastes de l'exposition à ces rayonnements ionisants, qui peuvent résulter, par exemple, d'activités telles que l'extraction et le traitement de l'uranium ou du rejet de substances radioactives dans l'environnement consécutif à un accident nucléaire ou radiologique.

Les matières radioactives peuvent aussi provenir de secteurs non nucléaires, comme la production pétrolière et gazière, où les activités de prospection et d'extraction peuvent accroître l'exposition due à des matières radioactives naturelles.

Quatre éléments majeurs doivent être examinés dans le cadre de la remédiation de l'environnement:

1. il faut connaître les niveaux d'exposition des personnes aux rayonnements résultant de la contamination ;
2. il importe de réduire les doses de rayonnements et les risques, en utilisant de manière optimale les ressources financières, techniques et humaines disponibles ;
3. il n'est pas forcément nécessaire de ramener les conditions d'un site à celles qui prévalaient avant l'événement ayant causé la contamination. D'ailleurs, cela n'est souvent pas facilement réalisable ;
4. le principal levier de la remédiation étant, dans nombre de cas, la perception qu'a le public des risques et des avantages associés à l'activité d'assainissement, le bien-être général de la communauté locale est alors un facteur important dans la détermination de l'état final prévu du site.

Espagne : un travail planifié dans les moindres détails pour un projet de déclassement réussi

Par Laura Gil

Dans le monde, seuls 17 des 157 réacteurs nucléaires de puissance mis définitivement à l'arrêt ont fait l'objet d'un déclassement complet, processus qui nécessite beaucoup de ressources et dure souvent plusieurs décennies. Si le processus est complexe, le cas de Guadalajara, dans le centre de l'Espagne, montre qu'une planification minutieuse, une politique et un cadre réglementaire appropriés, l'engagement des pouvoirs publics et la participation des parties prenantes peuvent faciliter sa réussite.

Mené depuis le début conformément au calendrier établi, le déclassement de la centrale nucléaire José Cabrera, la première de l'Espagne, d'une puissance électrique de 150 MW, est achevé à près de 70 % et s'effectue dans les limites du budget initial de quelque 150 millions d'euros aux prix de 2016. Enresa, l'entreprise nationale chargée des déchets radioactifs en Espagne, qui mène le projet, entend achever le déclassement d'ici à 2018.

Le démantèlement de la centrale nucléaire José Cabrera ne ressemble pas aux autres projets de déclassement commerciaux, car ce sont habituellement les exploitants de la centrale qui en ont la responsabilité et qui les exécutent. « Si le cas de cette centrale espagnole est pratiquement inédit, c'est avant tout parce que son déclassement est de la responsabilité d'un organisme public spécialisé », déclare Juan Luis Santiago Albarrán, Directeur des opérations chez Enresa.

En Espagne, une fois qu'une centrale est mise à l'arrêt et qu'un permis de déclassement est octroyé, les propriétaires et les exploitants en transfèrent le contrôle à Enresa, qui prend en

charge le déclassement et la gestion à long terme des déchets radioactifs.

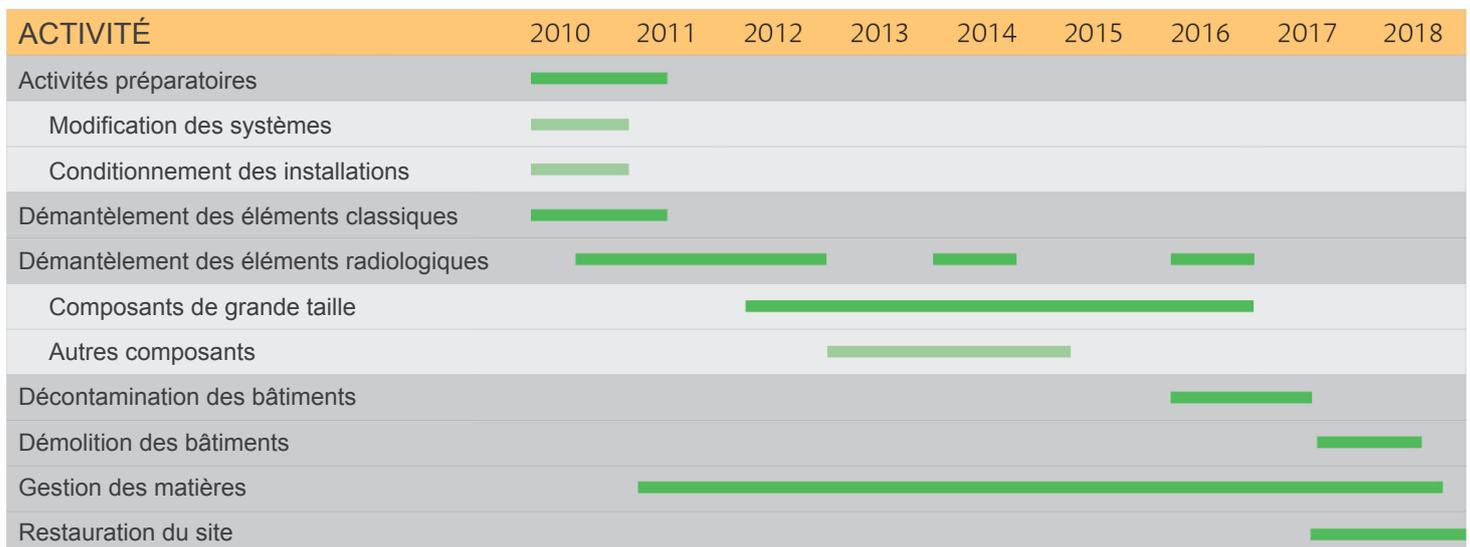
Depuis plus de 20 ans, Enresa est le centre spécialisé de l'Espagne en matière de déclassement et à ce titre, elle assure le déclassement de toutes les grandes installations où la radioactivité est utilisée, notamment les usines d'uranium de Jaén et de Badajoz et une centrale nucléaire à Tarragone. Le déclassement de la centrale José Cabrera est le premier projet de démantèlement du pays à avoir débuté immédiatement après la mise à l'arrêt de la centrale.

Planifier encore et encore et innover

Pour M. Santiago Albarrán, la clé du succès du déclassement réside dans sa planification minutieuse, dans la prise en compte de tous les aspects du projet, du début à la fin : l'octroi de licences et d'autorisations par les pouvoirs publics, les opérations de démantèlement et de décontamination, la gestion des déchets et, en dernier lieu, la restitution du site à son propriétaire.

Enresa, qui avait estimé la durée du déclassement à sept ans, a commencé à rassembler les autorisations et les documents requis par la réglementation trois ans avant la mise à l'arrêt de la centrale, en 2006. En 2010, ayant réuni les documents d'approbation nécessaires et obtenu l'entière responsabilité du processus de déclassement, elle était en mesure de commencer le projet.

Calendrier du déclassement de la centrale nucléaire José Cabrera



(Source: Enresa)

« Notre conseil ? Planifier, préparer en temps utile tous les documents d'autorisation pertinents et suivre de près et de manière continue l'avancement de toutes les opérations », confie M. Santiago Albarrán.

Il faut beaucoup innover pour optimiser le processus de déclassement, en exploitant au mieux tous les outils disponibles et en atténuant les risques éventuels. Ainsi, Enresa a transformé le bâtiment des turbines, doté d'épais murs de protection, en une installation de gestion des déchets radioactifs, où ceux-ci peuvent être traités, gérés et stockés.

« Cette possibilité de chercher, d'apporter des améliorations et d'innover ajoute une dimension de créativité au travail des responsables du déclassement. Il faut être prêt à faire face à l'inattendu et toujours envisager un éventail de solutions », explique M. Santiago Albarrán.

Protéger la population

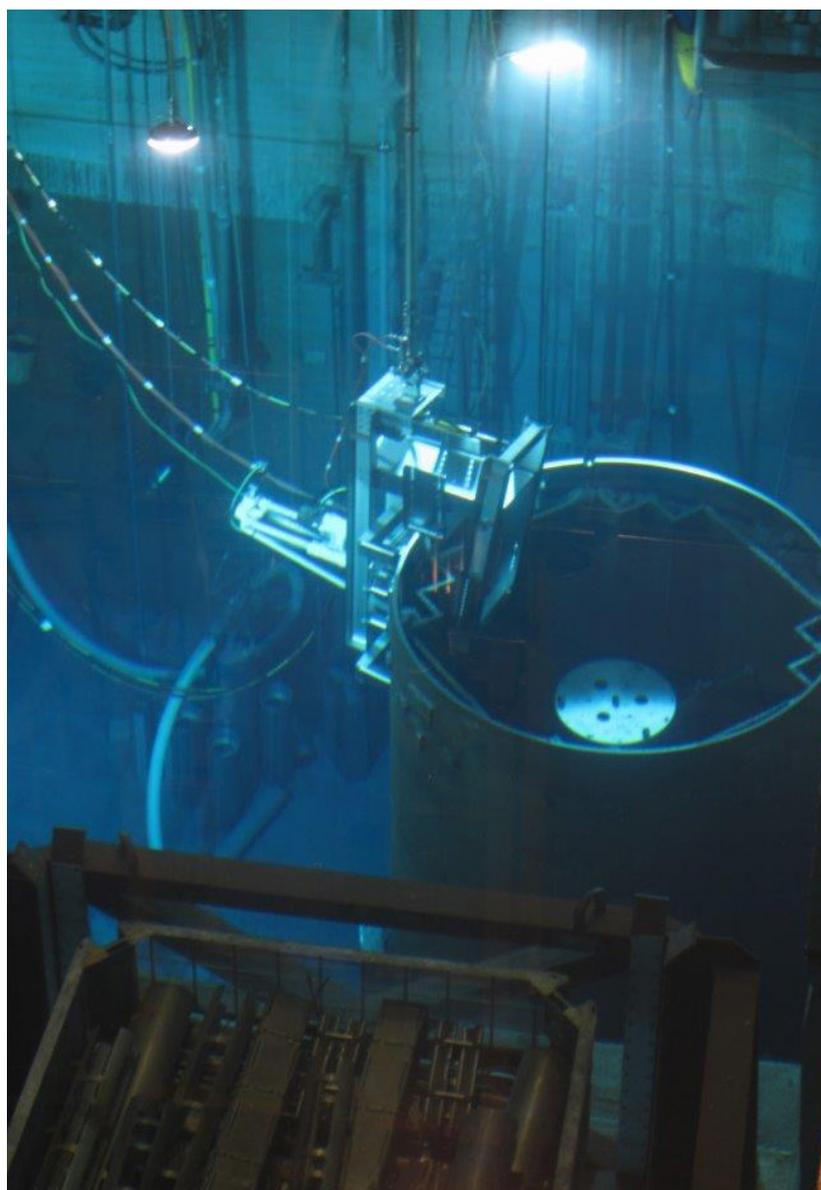
Une priorité du déclassement consiste à réduire le plus possible l'exposition des travailleurs aux rayonnements. Pour cela, Enresa a étudié des moyens de protéger son personnel et estimé que si les grands composants d'une centrale étaient retirés sous forme de pièces de grande taille, et non de petites pièces, et transférés dans de grands conteneurs, le temps passé par les travailleurs à manipuler les matières pouvait être raccourci et, par conséquent, leur exposition réduite.

« La segmentation des déchets et leur emballage dans de grands conteneurs posaient une difficulté, car il nous fallait de nouveaux outils », explique M. Santiago Albarrán. « Mais nos efforts n'ont pas été vains. Nous avons réduit les coûts et les doses de rayonnements reçues par les travailleurs », poursuit-il.

De plus, la segmentation de la cuve d'un réacteur et de ses composants sous l'eau a offert un moyen de protection supplémentaire. L'eau est une barrière naturelle efficace contre différents types de rayonnements. S'en servant comme d'un moyen de protection, les spécialistes ont pu se tenir au bord de la piscine à combustible usé et utiliser des outils mécaniques télécommandés pour segmenter, sous l'eau, toutes les parties internes du réacteur. « Les fragments métalliques résultant de la découpe restent dans l'eau, qui sert de blindage. La découpe sous l'eau de composants contaminés de grande taille a permis de rendre l'ensemble du processus plus sûr pour les travailleurs et pour l'environnement », conclut M. Santiago Albarrán.

Planifier jusqu'à la fin

Une fois qu'elle aura démantelé tous les composants, Enresa démolira les bâtiments, décontaminera le site et veillera à ce que tous les déchets soient évacués. Puis, lors de l'étape finale du déclassement, elle restaurera le site. « Une fois que nous aurons



restauré le site, l'organisme de réglementation devra vérifier qu'il ne reste pas de contamination importante avant que nous le restituions à ses propriétaires, qui pourront alors l'utiliser à nouveau à d'autres fins », déclare M. Santiago Albarrán.

Segmentation d'une cuve de réacteur sous l'eau à la centrale nucléaire José Cabrera.

(Photo : Enresa)

Le processus de déclassement est terminé lorsque l'organisme de réglementation certifie que le site ne présente plus de risque pour la sûreté du public ou de l'environnement et que, par conséquent, il n'est plus soumis à une autorisation. « Le but est de laisser aux générations futures un site assaini. Il s'agit de le restituer à la société pour qu'elle en dispose à d'autres fins », indique Patrick O'Sullivan, spécialiste du déclassement à l'AIEA.

Entretien en coulisse avec un responsable du déclassé

Les journées de travail ne se ressemblent pas quand on est responsable du déclassé. En effet, les installations nucléaires étant de formes et de dimensions diverses et chacune ayant une conception unique, le responsable du déclassé doit élaborer des plans sur mesure extrêmement détaillés et souvent trouver des solutions innovantes pour les démanteler pièce par pièce de manière sûre.

Pour se faire une idée du travail d'un responsable du déclassé, Nicole Jawerth, rédactrice de l'AIEA, a rencontré Steven Slater, chef du programme des projets de remédiation et de déclassé des sites à Sellafield (Royaume-Uni), où se trouvent plusieurs installations électronucléaires et usines de retraitement actives ou à l'arrêt, entrepôts de déchets nucléaires et laboratoires de recherche-développement dans le domaine nucléaire. Chargé de la gestion et du déclassé sûrs de plus de 150 installations nucléaires, Steven Slater a sous sa responsabilité plus de 500 membres du personnel sur l'ensemble du site de Sellafield.

En quoi le travail d'un responsable du déclassé diffère-t-il de celui d'un exploitant ?

Je suis responsable de la maintenance sûre des installations jusqu'à ce que les activités de déclassé commencent, après quoi je suis chargé de la gestion du projet de déclassé et de l'évacuation des matières radioactives en toute sûreté. Le principal objectif de mon travail est d'évacuer de manière sûre toute matière radioactive résultant de la phase de nettoyage après exploitation et de rendre les matières restantes sûres pour une évacuation à long terme.

Certains des travaux de déclassé que j'effectue sont totalement étrangers à un exploitant. En effet, mon rôle consiste à accéder aux matières radioactives, à les regrouper et à les mettre sous une forme passive et sûre. Les exploitants ne connaissent pas du tout ces tâches. Leur travail consiste principalement à maintenir les matières radioactives confinées en permanence tout au long du processus d'exploitation et de la vie utile d'une installation nucléaire.

La différence essentielle entre le déclassé et l'exploitation est que le premier s'inscrit dans le cadre d'un projet dans lequel sont définis un état initial et un état final, tandis que la seconde se déroule par étapes, chaque étape consistant à passer d'un processus à un autre.

Quel est le défi le plus grand ou le plus important à relever dans votre travail ?

Comme elles sont très anciennes, les installations sont souvent différentes de ce que suggèrent les plans, et les défauts dus à leur ancienneté posent souvent problème. Nous aimerions beaucoup qu'une installation soit exactement comme sur le plan, mais certaines ont près de 50 ans. Elles ont été modifiées à de nombreuses reprises au cours de leur exploitation. Comme la configuration de nos centrales ne correspond pas à ce qui est indiqué dans les plans et les dossiers, chaque fois que nous entrons dans une de ces installations, nous y faisons des découvertes.

Comment le processus de déclassé a-t-il évolué au fil des ans ?

Nous sommes passés d'un déclassé entièrement effectué à distance à un déclassé faisant davantage appel à l'interface homme machine. Il fut un temps où nous étions enthousiasmés par le déclassé entièrement télécommandé, mais la distance confère à l'opération une dimension, une complexité et un coût qui se révèlent souvent dissuasifs. Dans certains cas, il est encore nécessaire de travailler entièrement à distance, mais lorsque cela est possible, nous ne le faisons maintenant que partiellement, c'est-à-dire qu'une personne pénètre dans une zone pour y installer l'outil, mais qu'elle le commandera depuis un poste éloigné. Ainsi,



Steven Slater,
Chef du programme des projets de
remédiation et de déclassé des sites,
Sellafield Ltd (R.U)

la personne n'est pas dans la zone dangereuse, mais elle est présente et peut observer et apporter des modifications en fonction de l'évolution de la situation. Cette manière de procéder a constitué un réel changement pour nous au cours des dix dernières années.

Nous sommes également passés d'un déclassement à grande échelle à un déclassement plus tactique. Certaines des cellules et des zones concernées ont la superficie de plusieurs terrains de football. Par le passé, nous entrions dans les installations et procédions à un déclassement global, mais ce faisant, nous avons observé une propagation de la contamination dans toute la zone exposée. Nous optons maintenant pour un déclassement plus tactique en nous limitant à une zone à la fois, autour de laquelle nous mettons en place une structure de confinement, avant de passer à la section suivante. Cela évite de contaminer l'ensemble de la structure et c'est une méthode de déclassement vraiment plus efficace.

Quelles innovations avez-vous apportées ? Quelle place ces innovations occuperont-elles à l'avenir dans ce domaine ?

Nous innovons en permanence. Nous avons récemment mis au point ce que nous appelons un « serpent laser ». Il s'agit d'un bras flexible robotisé, actionné par des câbles, qui peut facilement être guidé dans des espaces confinés et des environnements encombrés. Son véritable avantage réside dans le fait qu'il est équipé de différents outils qui lui permettent d'effectuer toutes sortes de tâches, de l'inspection au nettoyage, en passant par la découpe au laser. Ainsi, en l'introduisant dans une cellule, on parvient plus facilement, grâce à la technique de découpe au laser, à décomposer des pièces difficilement accessibles et souvent radioactives. Cela évite tout contact direct de l'opérateur, réduisant au minimum son exposition.

Nous travaillons aussi avec REACT Engineering, entreprise partenaire de notre chaîne d'approvisionnement, avec laquelle nous mettons au point des méthodes de caractérisation à distance. Par exemple, nous avons attaché un dispositif de détection à un drone et l'avons envoyé dans une cellule radioactive. Nous pouvons ainsi prendre des photos en trois dimensions de l'intérieur de la cellule. Nous y superposons ensuite la carte radiologique et obtenons une représentation visuelle claire de l'état de l'intérieur de la cellule avant de décider d'envoyer quelqu'un y travailler. C'est une des manières de réduire l'exposition de nos opérateurs aux rayonnements.

Les drones sont de plus en plus utilisés à des fins de caractérisation. À l'avenir, lorsque nous commencerons à travailler sur des centrales qui posent plus de difficultés et dans les zones auxquelles il n'est absolument pas possible d'exposer des personnes, les techniques de déclassement à distance et les drones joueront un rôle bien plus grand. Je pense que des technologies comme celles-ci et d'autres innovations continueront d'évoluer et nous aideront à trouver de nouvelles façons de procéder au déclassement et de surmonter de nouvelles difficultés.



Dans certains cas, le travail manuel d'un responsable du déclassement peut être plus rapide et plus efficace que d'autres options.

[Photo : Sellafeld Ltd (R. U.)]

De quelle manière l'AIEA intervient-elle dans votre travail et dans le déclassement ?

Sellafeld fait partie des sites d'Europe occidentale qui présentent le plus de risques en raison de son stock. Nous travaillons avec nombre de nos homologues experts du nucléaire, mettant en commun notre expérience et nos techniques pour améliorer le déclassement. L'AIEA continue de nous apporter, à nous comme à d'autres dans ce domaine, son appui et sa collaboration.

Remédiation environnementale d'anciens sites de production d'uranium en Asie centrale

Par Andrew Green

Près de 60 sites de production d'uranium abandonnés, qui présentent un risque pour l'environnement et les habitants, parsèment le paysage dans les zones rurales du Kazakhstan, du Kirghizistan, du Tadjikistan et de l'Ouzbékistan. Chaque site représente un casse-tête pour les autorités locales et nationales, qui ne disposent pas des compétences techniques ni des ressources nécessaires à la remédiation.

Jusque dans les années 1990, ces sites servaient à produire de l'uranium. Comme ils ont été construits avant qu'une infrastructure de réglementation appropriée soit mise en place

Les défis du Kirghizistan

D'après le Ministère des situations d'urgence de la République kirghize, ce pays abrite 35 décharges de résidus et 25 sites comportant des amas de stériles, dont bon nombre contiennent des résidus toxiques. « L'instabilité sismique constitue le plus grand risque pour le milieu environnant, car elle peut se traduire par des glissements de terrain susceptibles d'entraîner une dispersion de ces résidus », explique Asel Seitkazieva, Directrice adjointe de ce ministère.

Par conséquent, le gouvernement considère les anciens sites de production d'uranium de Mailuu-Suu [1 sur la carte] et de Min-Kush [2 sur la carte] comme les premières des priorités en matière de remédiation.

Sur le site de Min-Kush, dans le centre du pays, les autorités kirghizes ont reçu une assistance du Groupe de coordination pour les anciens sites de production d'uranium (CGULS) de l'AIEA pour la planification de la remédiation de l'environnement et la mise en œuvre du projet. Grâce à des projets de coopération technique de l'AIEA, des spécialistes du Ministère de la santé de ce pays, de l'Académie nationale des sciences et de l'Agence nationale pour la protection de l'environnement et les forêts ont aussi appris

à utiliser les spectrométries gamma et alpha pour évaluer et surveiller l'intensité des rayonnements.

Bien que des plans de remédiation commencent à être élaborés, l'ensemble du site de Min-Kush reste en mauvais état en raison du manque de fonds, et les activités de remédiation n'y ont pas encore commencé. Cependant, avec le début du transfert des résidus vers des sites plus sûrs et de la restauration des sites, les travaux préparatoires de la remédiation ont commencé. « Lorsque nous disposerons du financement, nous procéderons au transfert physique des déchets et le site sera restitué à la culture », affirme Asel Seitkazieva.

Progrès accomplis et enseignements tirés à Mailuu-Suu

Les glissements de terrain, les inondations et une éventuelle défaillance des barrières de confinement sont aussi des sources de préoccupation sur le site de Mailuu-Suu, qui abrite une quantité importante de contaminants radioactifs résiduels. Cependant, des progrès sont accomplis. Avec l'aide de l'AIEA et à la demande du gouvernement kirghize, la Communauté



● : Anciens sites de production d'uranium au Kirghizistan.
 ① : Mailuu-Suu ② : Min-Kush

(Source : Ministère des situations d'urgence (Kirghizistan))

pour assurer le déclassement final, les résidus contenant des contaminants radioactifs à longue période et des contaminants chimiques hautement toxiques continuent de présenter des risques importants pour la santé du public et l'environnement.

« Selon certaines estimations, la quantité de résidus résultant de la production d'uranium, comme les stériles, s'élève en Asie centrale à près d'un milliard de tonnes », affirme John Rowat, chef de l'Unité du déclassement et de la remédiation au Département de la sûreté et de la sécurité nucléaires de l'AIEA. D'après lui, une grande partie de ces matières sont entreposées de manière non sûre sur des sites dispersés dans la région. En raison d'un manque de financement, au cours de la dernière décennie, les travaux se sont concentrés principalement sur des mesures à court terme destinées à protéger le public et l'environnement.



L'ancien site de production d'uranium de Min-Kush est situé dans une zone sujette aux glissements de terrain.

(Photo : AIEA)

d'États indépendants et la Commission européenne fournissent une aide internationale pour la remédiation des anciens sites de production d'uranium.

Au total, 36 sites abritant des amas de stériles et des résidus de traitement ont fait l'objet d'une remédiation partielle, qui a permis à la culture de reprendre, et plusieurs zones sujettes aux glissements de terrain situées près de résidus ont été améliorées et modifiées afin d'atténuer les conséquences d'un éventuel phénomène sismique. Nombre de projets de ce type sont inachevés et de nombreuses mines qui devraient faire l'objet d'une remédiation sont en mauvais état en raison du manque de financement. John Rowat estime que, comme pour le site de Min-Kush, il faut élaborer des programmes de contrôle radiologique et de surveillance réguliers et mettre en place une meilleure communication avec le public, ainsi que des mesures de contrôle institutionnel.

Ce que les pays voisins peuvent apprendre de l'expérience kirghize

D'après Asel Seitkazieva, l'expérience du Kirghizistan en matière d'activités de remédiation bénéficiant d'un appui international peut être utile aux pays voisins qui travaillent sur des projets similaires.

Ainsi, comme l'avait fait le Kirghizistan, le Tadjikistan et l'Ouzbékistan ont engagé l'AIEA, dans le cadre de son programme de coopération technique, à leur fournir du matériel de laboratoire, à organiser une formation de leur personnel et à leur apporter une assistance dans le cadre des exercices de caractérisation des sites. Asel Seitkazieva estime que l'expérience positive du Kirghizistan avec l'AIEA pourra être

une feuille de route utile pour déterminer les futures activités de remédiation internationales à mener, notamment lorsqu'il s'agira de trouver des moyens pour mettre en œuvre des programmes respectant les cadres réglementaires nationaux existants.

En matière de remédiation, les États Membres d'Asie centrale doivent souvent relever des défis communs. Par exemple, la vallée de Ferghana, ligne de partage des eaux qui court sur le Kirghizistan, le Tadjikistan et l'Ouzbékistan, est une région agricole importante pour ces trois pays, mais d'anciens sites de production d'uranium ont un impact sur cette vallée et menacent de la contaminer avec des substances toxiques.

« L'exemple de la vallée de Ferghana montre bien qu'il est important d'envisager la remédiation des anciens sites de production d'uranium de l'Asie centrale à l'échelle régionale, pour compléter les programmes propres à chaque pays. En effet, explique John Rowat, le Kirghizistan, le Tadjikistan et l'Ouzbékistan utilisent tous les trois les ressources en eau de la vallée. »

Des mines d'uranium aux étangs poissonneux : la remédiation de l'environnement dans le Limousin

Par Aabha Dixit



Avant et après : la remédiation de l'environnement dans le Limousin.

(Photo : AREVA/France)

Les lacs artificiels, lieux de pêche et centrales solaires abondent désormais dans le Limousin, une région de France où les activités d'extraction d'uranium ont progressivement pris fin. Cette transformation n'aurait pas été possible sans la collaboration des parties prenantes, la mise en œuvre de processus transparents, ni une coordination efficace des activités, déclare Yves Marignac, coordinateur du Groupe d'expertise pluraliste (GEP), qui participe aux activités de remédiation dans la région. La population locale a joué un rôle consultatif important dans le cadre du programme de remédiation de l'environnement, et elle a aujourd'hui réinvesti les anciens sites d'extraction pour des activités de loisir.

« Quand un site d'extraction d'uranium ferme, il est essentiel, pour avoir le soutien de la population, de la consulter sur la gestion de la remédiation », explique M. Marignac. Le cas du Limousin est particulier parce que ce sont les organisations non gouvernementales (ONG) qui ont amené le programme de remédiation de l'environnement à être élargi, ajoute-t-il.

Il est essentiel, pour la réussite de tout projet de remédiation, d'inviter le public à prendre part au processus décisionnel. Les populations locales étant les premières concernées par la

remédiation, elles ont besoin de savoir exactement pourquoi, quand et en quoi celle-ci aura un impact sur leur vie. « Leur participation est cruciale et nécessaire pour arriver à des décisions à la fois satisfaisantes sur le plan technique et acceptées par la société ».

Implication du public

Au départ, AREVA, l'organisation chargée des travaux de remédiation, était restée assez discrète sur ses plans, explique M. Marignac. Cependant, des ONG et des experts ayant procédé à des évaluations indépendantes des résidus radioactifs, les responsables des activités de remédiation ont rapidement élargi le champ du projet de manière à prendre en considération les préoccupations du public. La population a ainsi été invitée à jouer un plus grand rôle dans le processus décisionnel, indique-t-il.

Agissant avec rapidité et détermination, les pouvoirs publics français ont mis en place le GEP, un groupe réunissant des experts représentant des parties prenantes, afin d'instaurer un dialogue ouvert dont l'objet était de trouver des réponses

aux questions liées à la remédiation des mines fermées. Ce dialogue a également été l'occasion d'engager une discussion sur les activités de remédiation à mener en priorité et sur la sensibilisation.

Le GEP a réuni plus de 20 experts d'origines diverses, y compris des experts indépendants et d'autres représentant des institutions françaises et étrangères, des associations et des branches d'activité.

Ces experts se sont employés à examiner certains aspects techniques et opérationnels du programme de mise en œuvre de la remédiation.

Le plan de remédiation de l'environnement communiqué au GEP prévoyait de sécuriser les zones qui entourent les mines fermées, de construire des sites de stockage définitif spéciaux, d'évacuer et d'enfouir des roches contaminées et de mettre en place des mesures spéciales visant à éviter la contamination du réseau de distribution d'eau par des éléments radioactifs. « L'eau contaminée s'écoulant des amas de stériles, ces roches issues de la mine, constituait une préoccupation majeure. Il a fallu la recueillir et la traiter avant de lui faire réintégrer le réseau de distribution, » explique M. Marignac. Dans certaines zones, le contrôle et la gestion de l'eau sont toujours en cours.

L'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire et l'Institut national de l'environnement industriel et des risques ont apporté leurs conseils et leur soutien dans le cadre des travaux de remédiation. Des experts internationaux de l'AIEA, de Belgique, d'Israël, du Luxembourg, du Royaume-Uni et de Suisse ont également été consultés.

Il ne reste aujourd'hui que peu de traces de l'activité passée des anciens sites d'extraction d'uranium, et ceux-ci se fondent parfaitement dans le paysage alentour.

Activités de remédiation

Quand les mines d'uranium du Limousin ont fermé, des stratégies de gestion, notamment une méthodologie conforme à la loi de 2006 relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs, ont été mises au point.

La supervision et la mise en œuvre du processus de remédiation ont été confiées à la Direction régionale de l'industrie, de la recherche et de l'environnement (DRIRE) et à l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN). Il s'agissait principalement de veiller à ce que ce processus se déroule de manière transparente, d'assurer la sécurité de la population et de colmater les brèches susceptibles d'entraîner des fuites dans les mines désaffectées, afin d'éviter toute contamination, explique M. Marignac.

Les autorités ont également dressé un état des lieux des sites et procédé, en particulier, à l'inventaire des travaux miniers réalisés et à l'évaluation de l'état des stériles, des bassins de décantation des résidus de traitement et des systèmes de récupération et de traitement des eaux. Elles ont aussi déterminé où seraient stockés définitivement les sédiments contaminés et étudié la possibilité de réutiliser les stériles.

Des informations relatives aux incidences sur l'écosystème local, à l'évaluation de l'exposition des travailleurs et au contrôle des rejets de matières radioactives dans l'environnement et des propositions de mesures correctives ont également été examinées.

Entre 2006 et 2008, plusieurs activités prioritaires ont été mises en œuvre, en particulier le transfert sûr des déchets radioactifs et non radioactifs vers des sites de stockage définitif, le transport sûr des déchets radioactifs et l'application de rigoureuses mesures juridiques de protection du public et de l'environnement.

M. Marignac ajoute que le public avait également accès à l'inventaire que le gouvernement avait dressé des mines de la région, ainsi qu'à des informations détaillées sur les déchets radioactifs destinés à être stockés définitivement.

Dans le cadre de la remédiation des sites du Limousin, les pouvoirs publics ont cherché à limiter autant que possible l'impact résiduel des activités d'extraction passées et à réintégrer le site dans le paysage. Pour que ces zones puissent être réinvesties en toute sécurité par la population, les autorités ont également procédé à un contrôle radiologique rigoureux de l'environnement et entrepris d'importants travaux de traitement des eaux.

Des missions de l'AIEA évaluent les activités de déclassement menées à la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi

Le 11 mars 2011, un important séisme et le tsunami qui s'en est suivi ont provoqué un accident majeur à la centrale nucléaire japonaise de Fukushima Daiichi. Il s'agissait du pire accident nucléaire que le monde ait connu depuis celui de Tchernobyl en 1986. Le retrait du combustible et les activités de stabilisation et d'assainissement consécutives à l'accident sont toujours en cours à la centrale, le but étant de procéder au démantèlement en temps voulu.

Depuis que l'accident s'est produit, il y a cinq ans, l'AIEA a organisé plus de dix missions d'experts à la demande du gouvernement japonais, afin de le conseiller dans différents domaines. Trois de ces missions ont porté sur la sûreté et les aspects technologiques du déclassement et de la remédiation.

L'objectif des missions d'examen par des pairs qui concernaient le déclassement était de procéder à une évaluation indépendante des activités liées à la planification et à la mise en œuvre du démantèlement de la centrale.

Lors de la dernière mission en date, en février 2015, 15 experts internationaux ont réalisé un examen indépendant du

déclassement, en se basant sur les normes de sûreté de l'AIEA et sur d'autres bonnes pratiques en vigueur dans ce domaine. Les rapports de ces examens par des pairs peuvent être consultés sur le site internet de l'AIEA, à l'adresse : www.iaea.org/newscenter/focus/fukushima.

En août 2015, l'AIEA a publié le Rapport du Directeur général sur l'accident de Fukushima Daiichi, qui était accompagné de cinq volumes techniques élaborés par des experts internationaux. Cette publication présente une évaluation des causes et des conséquences de l'accident, ainsi qu'une synthèse des enseignements qui en ont été tirés. Elle constitue une précieuse source d'informations pour tous les pays qui produisent de l'énergie d'origine nucléaire ou prévoient de le faire. L'un des volumes porte sur le relèvement après l'accident, qui comprend le démantèlement et la remédiation de l'environnement.

Les photos ci-après ont été prises pendant la dernière mission de déclassement de l'AIEA, en février 2015..



Réservoirs d'eau contaminée, avec en arrière-plan les bâtiments des réacteurs de la centrale de Fukushima Daiichi.



L'équipe de l'AIEA spécialisée dans le déclassé se fait expliquer le fonctionnement d'un système de purification destiné à éliminer pratiquement tous les éléments radioactifs de l'eau contaminée.



Une experte de la mission de l'AIEA reçoit de l'aide pour mettre sa tenue avant une visite du site.



Un expert de la mission de l'AIEA devant un bassin vidé de son combustible utilisé.

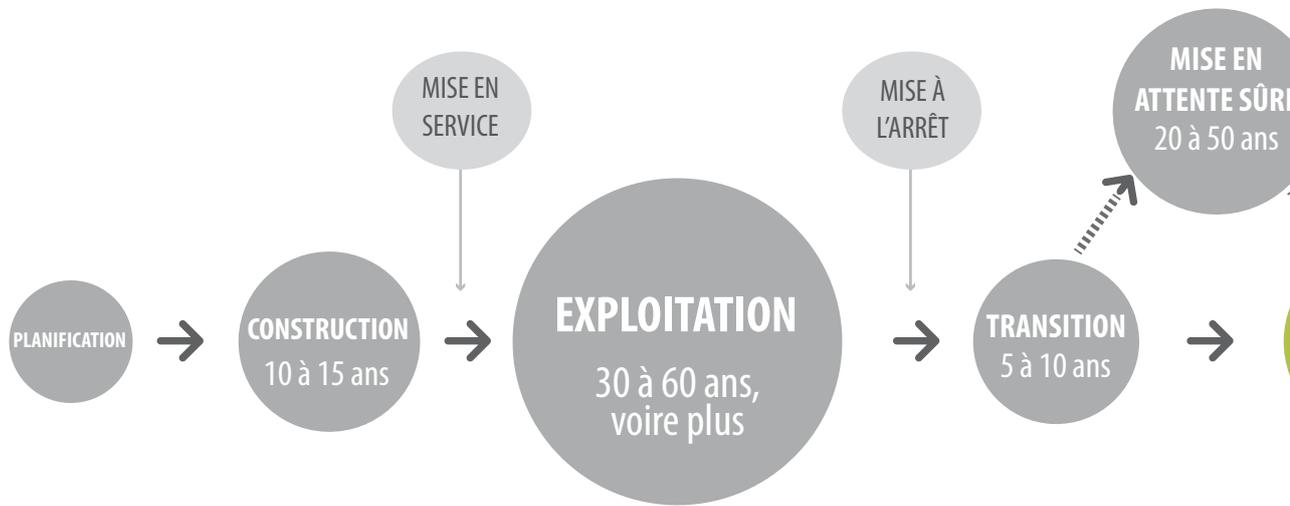
Les membres de l'équipe d'examen du déclassé de l'AIEA passent devant la structure de la tranche 4.

L'équipe de l'AIEA examine un système de purification destiné à débarrasser l'eau contaminée de pratiquement tous ses éléments radioactifs.



(Photos : S. Löff/AIEA)

DE LA PLANIFICATION AU DÉCLASSEMENT :



PLANIFICATION



1

La réussite d'un déclassé repose avant tout sur une planification minutieuse, qui englobe tous les aspects du projet, y compris son financement et ses autorisations.

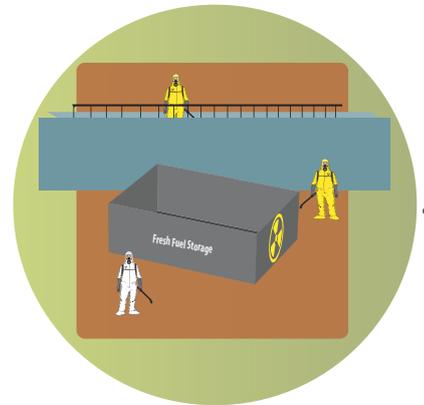
CARACTÉRISATION PHYSIQUE ET RADIOLOGIQUE



2

Les experts doivent bien connaître les caractéristiques de l'installation et l'intensité de rayonnement auxquelles s'attendent.

DÉCONTAMINATION



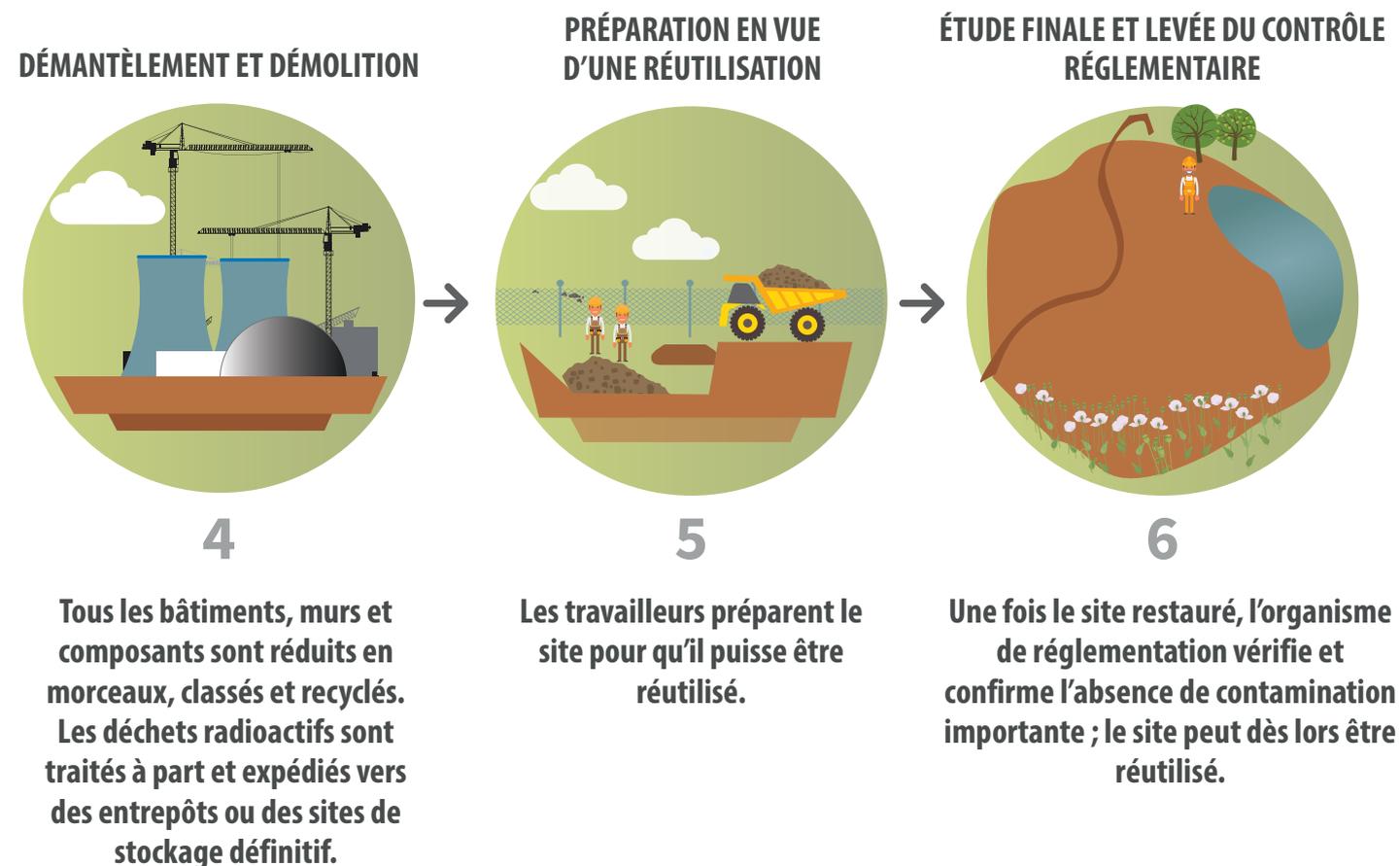
3

Les travailleurs décontaminent les matériaux et réduisent ainsi considérablement les quantités de déchets radioactifs.

LA VIE D'UNE CENTRALE NUCLÉAIRE

DÉCLASSEMENT
10 à 20 ans

Quand une installation n'a plus d'utilité sociale ou économique, elle doit être démantelée afin que le site puisse être employé pour d'autres activités. Le schéma ci-dessous illustre les six étapes du processus de déclassement.



Ne pas prendre à la légère le déclassement des réacteurs de recherche

Par Miklos Gaspar



Le 24 septembre 2015, on a procédé à l'extraction du combustible liquide à l'uranium hautement enrichi (UHE) irradié que contenait le réacteur de recherche du Radiation and Technological Complex. De Tachkent (Ouzbékistan), il a été réexpédié en Russie.

(Photo S. Tozser (AIEA))

Aujourd'hui, pour obtenir l'autorisation de construire un réacteur de recherche, les candidats à l'exploitation d'une installation de ce type doivent soumettre un plan initial de déclassement en vue de sa mise à l'arrêt, à terme. Ce n'était pas une obligation dans les années 1950, 1960 et 1970, quand la plupart des réacteurs de recherche qui arrivent actuellement en fin de vie ont été construits. Résultat, de nombreux réacteurs hors d'usage trônent, inertes, au milieu de campus universitaires, de parcs de recherche et de complexes hospitaliers, parce que leurs exploitants n'ont pas de plans adéquats pour leur déclassement.

« Nous avons récemment reçu l'autorisation d'exploiter notre réacteur de recherche pendant encore quelques années au moins, mais il nous faut décider ce nous allons en faire par la suite », explique Ketut Kamajaya, le chercheur responsable du déclassement du réacteur de recherche Triga-2000 de Bandung (Indonésie).

Encore 180 réacteurs à déclasser

Fin 2015, il y avait dans le monde 246 réacteurs de recherche en service dans 55 pays, et plus de 180 autres étaient à l'arrêt ou en cours de déclassement, d'après le Rapport d'ensemble sur la technologie nucléaire pour 2016 de l'AIEA. Plus de 300 réacteurs

de recherche et assemblages critiques ont été entièrement déclassés. Environ la moitié des réacteurs de recherche en service étant exploités depuis plus de 40 ans, la gestion du vieillissement et le déclassement sont aujourd'hui devenues des préoccupations majeures pour les spécialistes de ces installations.

De nombreux pays ne disposent ni du cadre institutionnel, juridique et réglementaire nécessaire, ni des compétences et de l'infrastructure technique requises pour procéder eux-mêmes au déclassement, explique Vladan Ljubenov, spécialiste de la sûreté des déchets à l'AIEA. « En général, les pays qui n'ont pas de programme électronucléaire ont des compétences techniques bien plus limitées en matière de déclassement, et souvent, les installations dont ils disposent ne leur permettent de gérer que les déchets de faible activité. » Si la plupart des déchets issus du déclassement d'un réacteur de recherche sont, il est vrai, de faible activité, les pays doivent aussi être à même de prendre en charge les petites quantités de déchets de haute et moyenne activité produites dans le cadre de ce processus.

Il arrive également que les pays ne disposent pas des fonds nécessaires pour procéder au déclassement. Il leur reviendrait pourtant moins cher sur le long terme de déclasser immédiatement les installations qu'ils ne peuvent plus utiliser, explique Vladimir Michal, chef de l'équipe chargée du déclassement et de la

remédiation environnementale à l'AIEA. Tant qu'un réacteur de recherche n'a pas fait l'objet d'une autorisation de déclassement délivrée par l'organisme de réglementation dont il dépend, il reste soumis aux règlements de sûreté et de sécurité qui s'appliquent aux réacteurs en service, même s'il n'est pas exploité et ne contient plus de combustible. « Il est plus coûteux de faire respecter les prescriptions réglementaires sur la durée que de déclasser le réacteur une fois pour toutes », ajoute M. Michal. « Le régime du déclassement est toujours préférable à une situation en suspens, et il offre davantage de sûreté. »

Déclasser sans délai

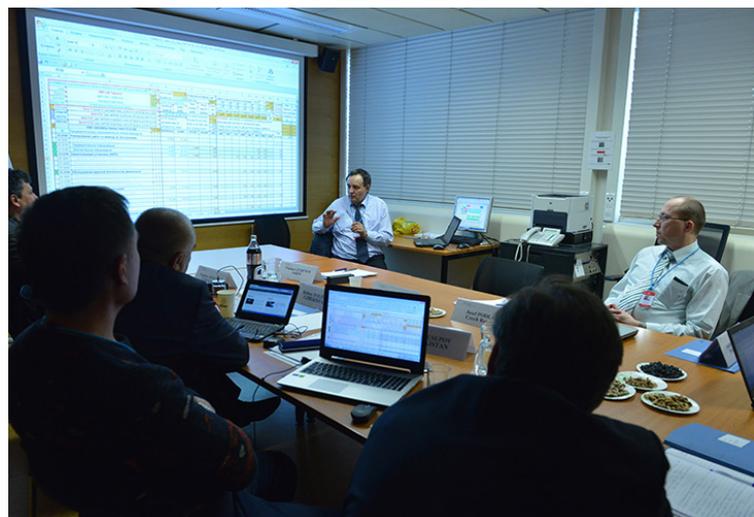
Selon M. Kamajaya, c'est le choix qu'a fait l'Indonésie. Il est déjà prévu que la production d'isotopes médicaux de l'installation de Bandung soit prise en charge à l'avenir par les deux autres réacteurs de recherche du pays. De même, la formation des scientifiques dans les domaines de la physique des réacteurs et de la thermohydraulique sera assurée sur d'autres sites. « Une fois que nous aurons mis le réacteur à l'arrêt, nous chercherons à le déclasser dans les meilleurs délais », affirme M. Kamajaya. Afin de se préparer en vue du déclassement, les experts des organismes d'exploitation ont pris part à plusieurs projets de coopération technique de l'AIEA, ce qui leur a permis d'assister à des opérations de déclassement en cours en Australie et en Belgique.

En Ouzbékistan, le gouvernement a décidé de mettre définitivement à l'arrêt le réacteur de recherche de l'Institut de physique nucléaire de Tachkent en juillet 2016, et de lancer le processus de déclassement dès que possible, nous fait savoir Umar Salikhbaev, Directeur de l'Institut de physique nucléaire. « Nous travaillons en étroite collaboration avec l'AIEA à l'élaboration du plan de déclassement préliminaire, lequel devrait être soumis au gouvernement d'ici au mois de mai. » Ces travaux font suite au déclassement du réacteur de recherche de FOTON à Tachkent, qui a commencé l'année dernière et devrait s'achever mi-2017. Le combustible du réacteur a été réexpédié en Russie en septembre dernier, dans le cadre d'un programme coordonné par l'AIEA (voir la photo en page 16).

Anciens et nouveaux réacteurs

Plusieurs organismes d'exploitation souhaiteraient construire de nouveaux réacteurs de recherche plus évolués sur le plan technique que ceux de la précédente génération. Ils auront moins de difficultés à obtenir l'autorisation réglementaire pour un nouveau réacteur de recherche et gagneront plus facilement la confiance du public s'ils peuvent démontrer que l'ancien réacteur a été convenablement déclassé, explique M. Ljubenov. Par ailleurs, le site de la précédente installation pourrait être réutilisé pour la nouvelle, ajoute-t-il.

À certains égards, les réacteurs de recherche sont plus compliqués à déclasser que les réacteurs de puissance, bien qu'ils soient plus petits, explique M. Ljubenov. Ils sont souvent installés au cœur de campus universitaires ou d'instituts de recherche, et entourés d'autres installations et bâtiments qui, eux, sont utilisés. Un réacteur de recherche peut être relié à des laboratoires ou à



Les ingénieurs responsables du réacteur de recherche de l'Institut de physique nucléaire ouzbek reçoivent des conseils de spécialistes internationaux et d'experts de l'AIEA sur l'élaboration d'un plan de déclassement.

(Photo : D.Calma/AIEA)

d'autres installations de recherche, voire partager des systèmes avec ces structures (une citerne d'entreposage de déchets, par exemple). « Où s'arrête l'installation, quels éléments doivent être déclassés, au juste, et que faut-il laisser en place ? La réponse à ces questions n'est pas toujours évidente », conclut M. Ljubenov.

Les réglementations adéquates

L'AIEA aide également les organismes de réglementation à établir le cadre juridique du déclassement pour leur pays. « N'exploitant que trois réacteurs de recherche et aucun réacteur de puissance, l'Indonésie ne dispose pas des compétences nécessaires pour élaborer ses propres lignes directrices », déclare Reno Alamsyah, responsable de la réglementation à l'Agence indonésienne de réglementation de l'énergie nucléaire (BAPETEN). L'AIEA a formé le personnel de cette agence à l'élaboration de textes législatifs et de lignes directrices, et elle l'aidera également à examiner le plan de déclassement quand celui-ci aura été soumis.

À l'issue de leur formation initiale, les équipes indonésienne et ouzbèke déclarent être mieux préparées pour gérer des projets de déclassement, que ce soit dans leur pays ou à l'étranger. « L'Indonésie possède deux autres réacteurs. S'ils fonctionnent bien pour le moment, un jour viendra où il faudra les déclasser eux aussi », explique M. Kamajaya.

En Ouzbékistan, les experts de l'Institut de physique nucléaire ont récemment commencé à élaborer le plan de déclassement du deuxième réacteur de recherche du pays. « Nous mettons à profit une importante partie du matériel et des connaissances acquis à l'occasion du premier déclassé », se félicite M. Salikhbaev.

Diffuser le savoir et renforcer la sûreté : les services de l'AIEA dans le domaine du déclassement et de la remédiation de l'environnement

Une planification et une exécution rigoureuses sont de mise quand il s'agit de mettre à l'arrêt des installations nucléaires arrivées en fin de vie utile, si l'on veut respecter les conditions de sûreté et de sécurité et permettre la réutilisation des sites par la suite. L'AIEA propose à ses États Membres tout un ensemble de services en lien avec le déclassement et la remédiation de l'environnement. Ceux-ci vont des conseils juridiques, réglementaires et techniques à la gestion de réseaux d'échange d'informations, en passant par la création de capacités et la formation. Ces services consistent également à prêter assistance aux États Parties à la Convention commune sur la sûreté de la gestion du combustible usé et sur la sûreté de la gestion des déchets radioactifs, en vertu de laquelle ces États sont tenus de communiquer des rapports sur la sûreté de leurs projets de remédiation et de déclassement.

Le présent article offre un aperçu de ces différents services.



Site de remédiation en Australie.

(Photo : AIEA)

Le service d'examen ARTEMIS

L'AIEA a mis au point un service d'examen intégré portant sur la gestion des déchets radioactifs et du combustible usé, le déclassement et la remédiation de l'environnement. Baptisé ARTEMIS, il a été lancé en 2014 à l'intention des exploitants d'installations et des organismes chargés de la gestion des déchets radioactifs, du déclassement des installations nucléaires et de la remédiation des sites contaminés par des matières radioactives.

Ce service est notamment utilisé par des organismes de réglementation, des administrations publiques et des responsables de l'élaboration des politiques nationales, qui peuvent faire examiner les cadres politiques et réglementaires nationaux ou institutionnels, qu'ils soient déjà en place ou encore au stade de la planification, ainsi que les programmes, projets ou installations de gestion des déchets que ceux-ci régissent. Ces examens peuvent également s'accompagner d'évaluations détaillées et de conseils techniques concernant la mise en œuvre de tel ou tel programme de déclassement ou de remédiation de l'environnement.

Ateliers et formations

Pour planifier et mettre en œuvre des programmes de déclassement et de remédiation de l'environnement, il est essentiel que les organismes chargés aussi bien de leur exécution que de la réglementation puissent compter sur un nombre suffisant de professionnels possédant les qualifications et l'expérience requises.

Dans le cadre de son programme de coopération technique, l'AIEA organise des cours, des ateliers et des missions d'experts et propose des programmes de bourses destinés à promouvoir le développement des connaissances et des compétences techniques. Les cours en présentiel sont complétés par des formations spécialisées en ligne.

Réseau international sur le déclassement

Créé à l'intention d'experts de ce domaine, le Réseau international sur le déclassement (IDN) vise à renforcer la coopération et la mise en commun des connaissances. Tous les types d'installations nucléaires sont concernés, qu'il s'agisse de centrales, d'installations du cycle du combustible, de réacteurs de recherche, d'anciens sites de recherche ou d'autres installations utilisant des radionucléides à des fins industrielles, médicales ou scientifiques.

Le réseau organise plusieurs activités de collaboration, notamment un forum annuel destiné à ses participants.

Réseau de gestion et de remédiation de l'environnement (ENVIRONET)

Le réseau ENVIRONET a été créé pour promouvoir et faciliter la collaboration entre les pays et organisations peu expérimentés et ceux qui bénéficient d'une plus grande expérience de la mise en œuvre de projets de remédiation de l'environnement. Il leur permet de mettre en commun leurs connaissances dans ce domaine.

Les membres du réseau ont accès à une large gamme d'activités de formation et de démonstration, qui sont axées sur une région ou un thème. Celles-ci leur permettent d'acquérir une expérience pratique adaptée à leurs besoins et d'accéder à des techniques éprouvées.

Interconnexion de réseaux pour l'amélioration de la communication et de la formation (CONNECT)

CONNECT est une plateforme internet à laquelle peuvent accéder les membres des réseaux professionnels et des communautés de pratiques de l'AIEA. Elle a pour objectif de faciliter la collaboration et la mise en commun d'informations et de données d'expérience, tant au sein de ces réseaux qu'entre eux.

La plateforme CONNECT héberge onze réseaux, dont l'IDN, l'ENVIRONET et d'autres s'occupant, entre autres, de stockage définitif, de gestion du combustible usé et de gestion des connaissances nucléaires.

Modélisation et données pour l'évaluation de l'impact radiologique (MODARIA)

Le programme MODARIA vise à améliorer les capacités dans le domaine de l'évaluation des doses de rayonnements dans l'environnement, par plusieurs moyens : l'utilisation de données améliorées, le test et la comparaison de modèles, la recherche d'un consensus sur les méthodes et les valeurs de paramètres à employer pour la modélisation, la mise au point de meilleures méthodes et l'échange d'informations.

Les résultats des évaluations radiologiques sont utilisés, par exemple, dans le cadre de l'analyse de la portée radiologique des rejets habituels et accidentels de radionucléides, pour faciliter la prise de décisions dans les travaux de remédiation et pour évaluer la performance des installations de stockage définitif de déchets radioactifs.

Ce programme comprend dix groupes de travail qui étudient tout un ensemble de questions interdépendantes, telles que les rejets courants de radionucléides dans l'environnement, la migration des radionucléides dans les milieux urbains et ruraux contaminés, la dispersion des radionucléides dans les systèmes marins et la remédiation des terres contaminées à la suite d'un accident nucléaire ou d'activités passées mal réglementées.

Autres initiatives de collaboration

En 2012, l'AIEA a mis en place le Groupe de coordination pour les anciens sites de production d'uranium (CGULS), dont la tâche est d'assurer la coordination technique des activités nationales et multilatérales ayant trait à la remédiation des anciens sites de production d'uranium, principalement en Asie centrale.

Un autre service, le Forum international de travail pour la supervision réglementaire des anciens sites (RSLS), a été créé en 2010 en vue de promouvoir une supervision réglementaire efficace et efficiente des anciens sites, dans le respect des Normes de sûreté de l'AIEA et des bonnes pratiques internationales. Ce forum offre aux participants l'occasion d'acquérir une expérience pratique dans le cadre d'ateliers internationaux consacrés à des sites donnés. Il vise à renforcer les compétences techniques et les capacités en matière de réglementation de la remédiation, et aide les pays à élaborer des stratégies nationales efficaces destinées à améliorer leurs processus décisionnels.

Dans le cadre du Projet international sur la gestion du déclassement et de la remédiation des installations nucléaires endommagées (DAROD) lancé en janvier 2015, les experts peuvent approfondir leurs connaissances sur le déclassement et la remédiation d'installations nucléaires endommagées par des accidents graves et tirer parti de l'expérience acquise dans ce domaine. Le projet DAROD traite d'aspects liés à la réglementation, à la technologie et à la planification du déclassement et de la remédiation.

Il s'agit de l'un des projets entrepris par l'AIEA dans le cadre du Plan d'action sur la sûreté nucléaire qu'elle a adopté à la suite de l'accident survenu à la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi en 2011.

Nouvelles technologies de déclassement et de remédiation

Par Vincent Fournier

Dans l'optique de la remédiation de l'environnement, des drones peuvent être équipés de capteurs et de caméras pour recueillir des données à distance.

[Photo : R. Duran (AIEA)]



Grâce aux technologies nouvelles et expérimentales, le déclassement et la remédiation deviennent plus économiques, plus rapides et plus sûrs. L'utilisation des nouvelles technologies progresse à tous les stades des opérations : de la planification au contrôle, en passant par l'exécution.

Lasers et drones au service de la planification

Avant de procéder au déclassement ou à la remédiation de l'environnement, les experts doivent planifier les opérations étape par étape et pour ce faire, avoir une idée précise des caractéristiques de la structure et de l'intensité de rayonnement auxquelles s'attendre.

S'il est possible, à des fins de planification, de déterminer ces caractéristiques manuellement, en dessinant des plans ou en prenant des mesures ou des photos, par exemple, les techniques de balayage laser permettent maintenant aux équipes de déclassement de déterminer plus rapidement et avec plus de précision les caractéristiques physiques des structures, systèmes et composants d'une installation. En complément, des appareils de haute technologie extrêmement sensibles, comme des gamma-caméras télécommandées, permettent de mesurer avec précision et efficacité les caractéristiques radiologiques de l'installation, notamment l'intensité et la nature des rayonnements. Une fois l'installation décontaminée, il faut effectuer de nouvelles mesures pour vérifier que l'intensité résiduelle est négligeable.

Pour les spécialistes de la remédiation de l'environnement, il est de plus en plus important de comprendre de façon nuancée comment l'environnement d'un site et les polluants qu'il contient se comportent au fil du temps. À cette fin, de nouveaux outils, tels que des drones équipés de capteurs, permettent aux spécialistes d'évaluer à distance la surface du

site et ces informations, associées aux données recueillies sur le terrain, peuvent aider à déterminer la nature, la concentration et la répartition des polluants présents dans le sol. Cette technique permet de déterminer avec une grande précision les caractéristiques physiques et radiologiques du site, ainsi que le comportement et la dynamique de son environnement.

Avec l'une et l'autre de ces techniques, une fois les données recueillies, un logiciel sophistiqué de modélisation 3D permet de générer des reproductions extrêmement détaillées de l'installation ou du site et d'y superposer un plan de l'intensité de rayonnement observée. Ce logiciel peut également servir, dans le cadre de la remédiation de l'environnement, à simuler le comportement de polluants dans l'environnement et, ce faisant, à déterminer comment assurer de façon sûre, viable et économique la remédiation d'un site ainsi que sa surveillance et sa gestion à long terme.

Humains et robots

Les installations nucléaires sont pleines de coins et de recoins qui peuvent être difficiles d'accès et, à certains endroits, hautement radioactifs et dangereux pour les travailleurs. Les robots apportent des solutions nouvelles à ces difficultés.

« Il y a dans ces installations des endroits où les travailleurs ne peuvent tout simplement pas aller », explique Vladimir Michal, chef de l'équipe chargée du déclassement et de la remédiation environnementale à l'AIEA, « soit parce qu'ils sont trop petits et étroits, soit parce qu'ils sont trop radioactifs et dangereux. C'est là que la robotique peut apporter quelque chose. En effet, on peut utiliser des outils télécommandés pour mesurer la radioactivité, décontaminer des centrales nucléaires voire segmenter et manipuler les composants de la centrale, ce qui évite d'exposer un être humain au risque d'une telle opération. »

Grâce aux progrès de la technologie, les robots sont de plus en plus miniaturisés, sophistiqués et perfectionnés, ce qui leur permet d'opérer dans toutes sortes d'environnements et dans des milieux extrêmes. Ainsi, des bras multifonctions peuvent être actionnés à distance et équipés d'outils tels que des lames lasers pour démanteler des tuyaux ou des composants de réacteur difficiles d'accès, entre autres.

Ces outils de découpe télécommandés peuvent aussi fonctionner sous l'eau, sous la supervision d'opérateurs situés à proximité mais protégés par le bouclier naturel que constitue l'eau contre les rayonnements. En démontant les composants radioactifs sous l'eau, les robots peuvent contribuer à protéger les travailleurs et à empêcher l'émission de particules dans l'air.

Innovante nature

Qui dit innovation ne dit pas forcément nouveaux gadgets complexes. Une technique qui s'inspire de la nature, tel est le concept qui émerge dans le domaine de la remédiation de l'environnement. Il arrive en effet que la meilleure solution ne soit pas celle qui fait appel à des outils coûteux et à des opérations chimiques.

« Dans certains cas, la meilleure solution peut être de laisser faire la nature », résume Horst Monken-Fernandes, spécialiste de la remédiation de l'environnement à l'AIEA. « Toutefois, cette démarche exige une compréhension et une anticipation extrêmement précises des processus environnementaux que l'on fait intervenir. Ce n'est que récemment que les outils de calcul et les techniques de caractérisation et de surveillance sont devenus assez puissants pour rendre cette démarche plus fiable. »

La nanoremédiation – remédiation à l'échelle nanométrique – est une nouvelle technique qui fait intervenir de minuscules structures artificielles, les nanoparticules, pour réduire rapidement et efficacement les concentrations de polluants dans le sol et les eaux souterraines. Ces particules, d'un diamètre environ 100 000 fois inférieur à celui d'un cheveu, présentent d'énormes avantages : elles sont faciles à stocker, à transporter, à faire pénétrer et à diffuser. Elles peuvent donc être injectées sous la surface de l'élément contaminé pour dégrader ou immobiliser le polluant. Elles peuvent aussi servir à piéger les polluants au moyen de nanostructures qui se comportent comme un tamis moléculaire. Cette technique pourrait se révéler un moyen plus économique d'atteindre les objectifs de décontamination de l'environnement que les techniques classiques, telles que l'excavation.

Des possibilités infinies

Si l'innovation ouvre de nouvelles perspectives, elle impose aussi de nouvelles formations. À cet égard, la réalité virtuelle peut être une solution. Le monde de la 3D permet en effet aux spécialistes d'expérimenter directement chaque étape du processus de déclassement et de remédiation de l'environnement. Il peut s'agir, entre autres, de définir les



Un robot-serpent équipé d'une lame laser permet à l'équipe de déclassement d'accéder à des espaces confinés et dangereux.

[Photo : Sellafield Ltd (R.-U.)]

différentes phases de l'opération de découpe, l'intensité des rayonnements auxquels les travailleurs peuvent être exposés, les solutions les plus rentables pour retirer les composants et emballer les déchets segmentés, et les risques en matière de sûreté.

Si les avantages des nouvelles technologies et de l'innovation ne manquent pas, il faut souvent des années pour les transposer à grande échelle, en particulier dans les pays disposant de budgets et de ressources limités. L'AIEA aide les pays à accéder à l'information, à l'expérience et à la formation dont ils ont besoin.

« L'ambition de l'AIEA », précise Vladimir Michal, « c'est d'aider les États Membres à développer et à entretenir les moyens dont ils disposent pour mener en temps voulu des projets de déclassement et de remédiation de manière sûre et économique. »

Déclassement des installations nucléaires : l'exemple de l'Allemagne

Par Boris Brendebach



Boris Brendebach est attaché de recherche et expert en chef du déclassement à la Société pour la sûreté des installations et des réacteurs nucléaires (GRS), qui aide le gouvernement allemand dans ses activités de déclassement et de remédiation.

Depuis les années 1970, l'Allemagne a acquis une expérience considérable en matière de déclassement d'installations nucléaires. Aujourd'hui, 16 centrales nucléaires de production d'électricité dotées de réacteurs de puissance ou de prototypes de réacteurs sont en cours de déclassement, à divers stades du processus, et trois projets ont été achevés (voir la carte).

À la suite de l'accident de la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi survenu en mars 2011, le gouvernement allemand a décidé de mettre un terme, de manière progressive, à l'exploitation de l'énergie nucléaire aux fins de la production commerciale d'électricité. Cette décision s'est traduite par l'adoption, le 31 juillet 2011, d'un amendement à la loi allemande sur l'énergie atomique, qui prévoit de retirer aux sept centrales les plus anciennes et à celle de Krümmel, le 6 août 2011, l'autorisation d'exploiter une installation destinée à la fission de combustible nucléaire aux fins de la production commerciale d'électricité, et d'échelonner jusqu'en 2022 l'expiration des autorisations dont bénéficient les neuf autres centrales.

Depuis, les huit centrales nucléaires arrêtées en 2011 ont demandé une autorisation de déclassement. Par ailleurs, la centrale de Grafenrheinfeld a été mise à l'arrêt le 27 juin 2015, soit six mois plus tôt que prévu. Sa demande de déclassement a été présentée longtemps à l'avance, de même que celle de la centrale de Gundremmingen B, qui est toujours en service et doit être arrêtée fin 2017.

La carte de la page suivante présente une vue d'ensemble des centrales nucléaires de l'Allemagne, réparties dans les catégories suivantes : en cours de déclassement, déjà démantelées, mises définitivement à l'arrêt mais en attente d'une autorisation de déclassement, ou en service mais dont la date de fin d'exploitation est connue. Outre les réacteurs de puissance et les prototypes de réacteurs, plus de 30 réacteurs de recherche de différentes tailles et plus de

dix installations du cycle du combustible nucléaire ont été mis à l'arrêt et ont été ou vont être déclassés.

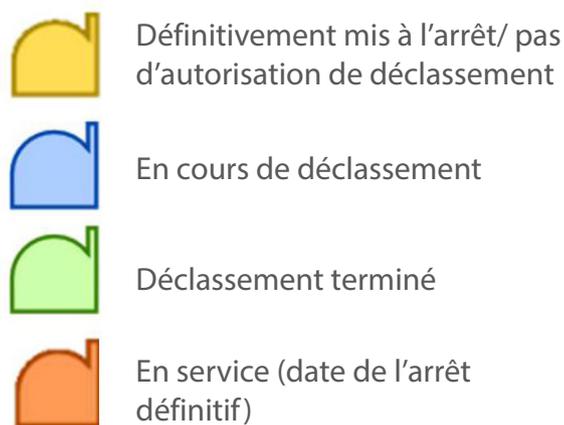
Des projets tous différents

Si de nombreux projets de déclassement peuvent être mis en œuvre simultanément, chaque projet est unique. Le déroulement du projet, son financement, le choix de la stratégie de déclassement et de nombreuses autres modalités dépendent du type de l'installation et de son propriétaire :

- Les réacteurs de puissance et les centrales d'enrichissement d'uranium et de fabrication de combustible appartiennent aux compagnies d'électricité et aux entreprises de ce secteur.
- Les réacteurs de recherche, les prototypes de réacteurs destinés à la production d'électricité et les prototypes d'installations du cycle du combustible nucléaire sont, quant à eux, implantés dans des centres de recherche ou des universités, et bénéficient d'un financement public.
- En ex-Allemagne de l'est, le déclassement des centrales nucléaires de Greifswald et de Rheinsberg est financé au moyen du budget fédéral, de même que le déclassement et la remédiation des installations d'extraction et de traitement de l'uranium.

Le cadre juridique du déclassement des installations nucléaires découle de la loi sur l'énergie atomique. Il stipule que cette activité est soumise à l'autorisation de l'autorité compétente. La loi sur l'énergie atomique autorise deux stratégies : le démantèlement immédiat ou le démantèlement après mise en attente sûre. Le choix de la stratégie à adopter appartient à l'exploitant. La plupart des exploitants ont opté pour le démantèlement immédiat.

Les réacteurs de puissance en Allemagne



[Source : GRS (Allemagne)]

Pour faire une demande d'autorisation, il faut communiquer certains documents à l'autorité compétente de l'État fédéré où se trouve l'installation nucléaire. Ces documents doivent notamment décrire la procédure sur laquelle porte la demande, les mesures de démantèlement prévues et les techniques qu'elles feront intervenir, l'impact de cette procédure sur l'environnement et les dispositions prises en matière de radioprotection. D'autres aspects, régis par une ordonnance relative à la procédure d'autorisation nucléaire, figurent dans un guide du déclasserement.

L'autorité compétente de l'État fédéré contrôle le respect des prescriptions énoncées dans l'autorisation de déclasserement. Elle vérifie que les modalités des travaux et les conditions imposées pour l'obtention de l'autorisation sont bien respectées. Elle se fait aussi aider par des experts indépendants, qu'elle charge d'effectuer des contrôles supplémentaires. Par ailleurs, dans le cadre de cette procédure de contrôle, les techniques et les

méthodes définies dans l'autorisation doivent être décrites par le menu et un programme détaillé établi.

Les prochaines missions de l'Allemagne seront de mener à bien les projets de déclasserement en cours et de procéder au déclasserement des installations nucléaires encore en service dès que celles-ci auront atteint le terme de leur vie utile. Lorsqu'il s'agira de déclasser simultanément plusieurs grandes installations, dans le cadre de la suppression progressive de l'électronucléaire, l'Allemagne risque de manquer d'experts, tant au niveau de leur nombre que des compétences requises, à tous les stades des opérations (exploitants, organisme de réglementation, organismes d'appui technique et fournisseurs).

Déclassement et remédiation environnementale des installations nucléaires : tendances actuelles

By Juan José Zaballa Gómez



Juan José Zaballa Gómez est un économiste et un ancien professionnel du secteur du déclassé nucléaire. Il est le président de l'Enresa, l'entreprise nationale espagnole chargée des déchets radioactifs, ainsi que de la conférence internationale de l'AIEA sur la progression de la mise en œuvre des programmes de déclassé et de remédiation environnementale au niveau mondial, qui se tiendra du 23 au 27 mai 2016 à Madrid.

Le déclassé et la remédiation environnementale des installations nucléaires civiles constituent un enjeu considérable pour les pays qui participent à cette activité partout dans le monde. Ils posent des difficultés liées à la gestion, à la technologie, à la sûreté et à l'environnement.

Au cours des dernières décennies, les exploitants ont acquis, à l'échelle mondiale, une expérience importante en matière de déclassé et de remédiation environnementale des sites nucléaires. Un grand nombre d'installations nucléaires ont été mises à l'arrêt, et bien davantage devraient l'être dans les années à venir. Ainsi, plus de 150 réacteurs de puissance ont été mis à l'arrêt ou sont en cours de déclassé, dont 17 ont déjà été déclassés, tandis que plus de 180 réacteurs de recherche ont été mis à l'arrêt ou sont en cours de déclassé et plus de 300 ont déjà été entièrement déclassés. En tout, 170 autres installations du cycle du combustible nucléaire ont été arrêtées ou sont en cours de déclassé et 125 ont été entièrement déclassées. L'Espagne fait partie des pays qui ont de l'expérience et des projets en cours dans ce domaine.

Il a été démontré que les activités de déclassé pouvaient être menées sans entraîner de risques supplémentaires pour la santé, la sûreté ou l'environnement, et que cette branche de l'industrie était parvenue à maturité.

Quels sont les éléments fondamentaux qui rendent cette activité possible ? D'après notre expérience, le cycle complet du déclassé est lié à trois éléments essentiels : l'existence d'un cadre juridique et réglementaire, garant de la sûreté, la disponibilité des fonds et des ressources nécessaires et l'accès aux technologies et aux acquis de l'expérience dans ce domaine, notamment à des solutions logistiques et à des modes de gestion permettant de prendre en charge les matières produites au cours du processus, en

particulier le combustible usé et les déchets radioactifs.

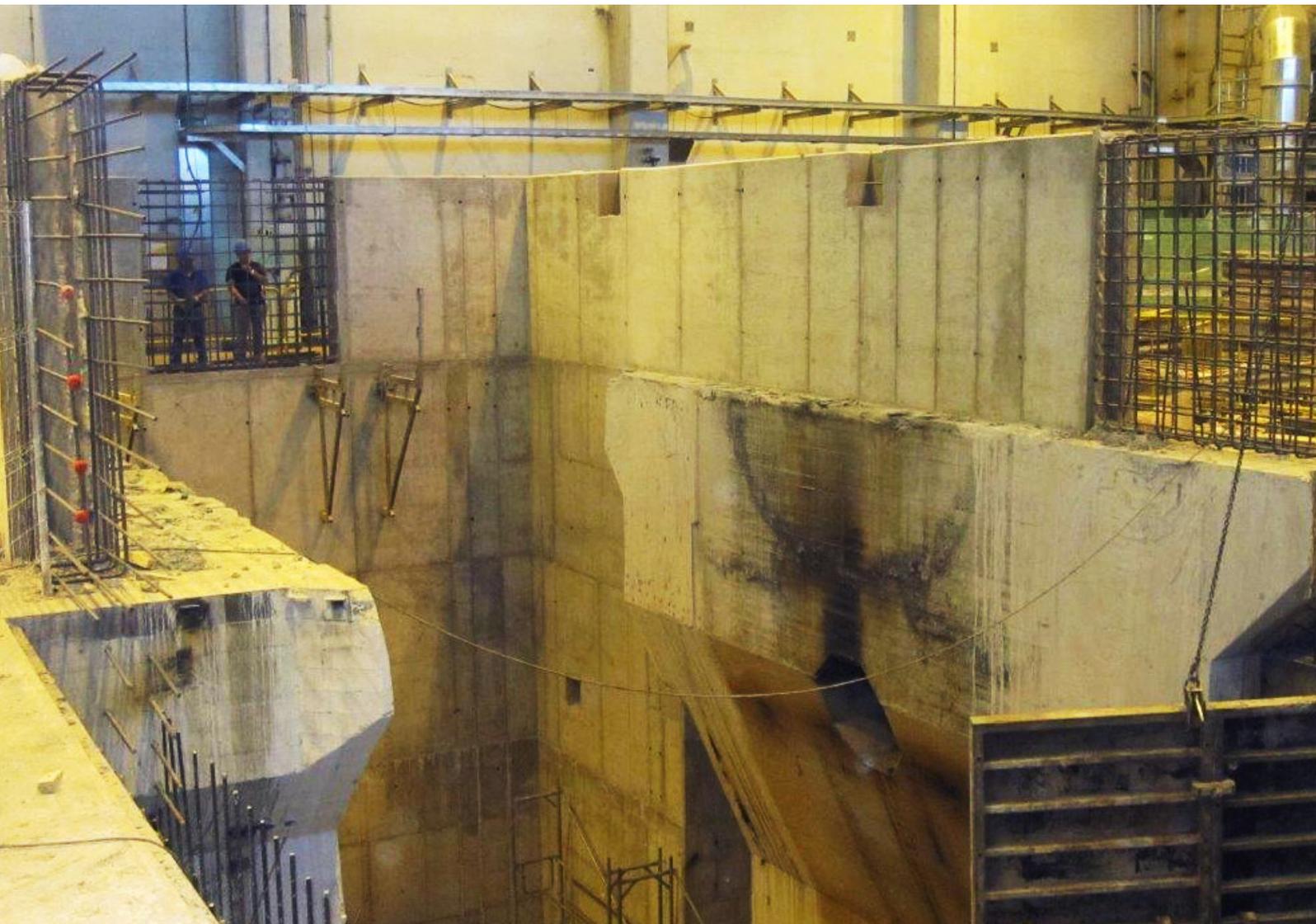
Il est nécessaire d'élaborer un cadre juridique adapté qui définisse clairement les responsabilités des différentes parties prenantes, notamment des autorités. En passant d'une activité d'exploitation à une activité de démantèlement et de déclassé, il convient de modifier le cadre réglementaire pour s'assurer que les mesures requises pour faire face aux risques particuliers de ce type de projet sont adoptées de manière à faciliter sa mise en œuvre, tout en respectant les prescriptions de sûreté en vigueur.

L'importance de la R-D

Il est nécessaire d'assurer la continuité des activités de recherche et développement et d'innovation afin de développer et d'améliorer les techniques et la technologie. À cet égard, il faut tenir compte du caractère singulier du déclassé et de la remédiation de l'environnement, qui consistent essentiellement en des opérations peu courantes, soumises à l'évolution incessante de l'environnement et du profil de risque. Il faut également tenir compte d'un environnement qui nécessite une amélioration constante et simultanée des conditions de sûreté, de l'efficacité de la gestion de projets et des coûts associés.

Un élément essentiel de ces activités réside dans la nécessité de séparer les matières non radioactives des déchets radioactifs. Ce processus permet de réduire le plus possible le volume de déchets nécessitant un traitement spécial et une gestion différente en raison de leur radiotoxicité.

L'existence d'installations et de modes de gestion permettant une prise en charge des matières produites au cours du déclassé jusqu'à leur stockage définitif, en particulier les déchets radioactifs et le combustible nucléaire usé, garantit qu'aucune dette ne



L'Enresa a transformé le bâtiment de la turbine de la centrale nucléaire José Cabrera en installation de gestion de déchets radioactifs.

(Photo : Enresa)

sera léguée aux générations futures. À l'inverse, l'absence de tels modes de gestion et de telles installations de destination risque de compliquer le processus d'approbation et, dans tous les cas, elle rend incertaine la détermination du coût final.

Former les jeunes

Ces activités nécessitent du personnel et des entrepreneurs qualifiés. Le secteur nucléaire, dont la main-d'œuvre vieillit, a du mal à attirer et à retenir de jeunes recrues pour la renouveler. Cette situation a une incidence non seulement sur les opérations ordinaires mais aussi, et peut-être davantage, sur les activités de déclasserment et de remédiation de l'environnement.

L'adhésion du public est une condition essentielle de la bonne exécution de ces activités. À cet égard, on s'accorde généralement à penser que, pour ce qui est de faciliter la participation responsable et éclairée de multiples parties prenantes à la prise de décision, les exploitants et les autorités ont une responsabilité à assumer.

Les participants à ces activités, quel que soit leur pays, devraient être préparés à des situations imprévues. En effet, une multitude de facteurs — d'ordre politique, économique, social, réglementaire et environnemental — peuvent influencer sur le déroulement de ces activités, de leur planification initiale à leur achèvement.

Je voudrais conclure sur un point important : la question des coûts et du financement du déclasserment et de la remédiation de l'environnement. Les coûts varient sensiblement en fonction du type d'installation, de la stratégie de démantèlement, de l'objectif de la libération des sites, de la proximité et de l'existence des infrastructures nécessaires pour gérer les matières produites au cours du processus, et du cadre réglementaire en vigueur. À cet égard, on veille avec une attention croissante à ce que les ressources financières disponibles soient suffisantes pour permettre d'exécuter et de mener à bien les activités, de manière à éviter de léguer une dette aux générations futures.

Développement de l'infrastructure nucléaire : les difficultés communes aux pays primo-accédants



Le Bélarus construit actuellement sa première centrale nucléaire sur le site d'Ostrovets.

[Photo : Direction pour la construction de centrales nucléaires (Bélarus)]

Les pays qui s'engagent dans un programme électronucléaire doivent s'assurer que le développement de leur infrastructure législative, réglementaire et d'appui se fait bien au même rythme que la construction de la centrale elle-même. C'est le seul moyen pour que le programme se déroule de manière sûre, sécurisée et viable : telle a été la conclusion des participants d'un atelier sur le développement de l'infrastructure électronucléaire qui s'est tenu à l'AIEA en février dernier. Comme l'explique Milko Kovachev, chef de la Section du développement de l'infrastructure nucléaire, « un programme électronucléaire est une entreprise sérieuse qui nécessite d'importantes ressources financières et implique la responsabilité de mettre en place l'infrastructure nécessaire. Un pays ne devrait démarrer un programme électronucléaire que lorsqu'il est prêt et qu'il peut envisager avec réalisme le temps et les ressources à y consacrer ».

Les pays qui adoptent l'énergie nucléaire pour la première fois, les « primo-accédants », se heurtent souvent aux mêmes difficultés lorsqu'il s'agit de développer des infrastructures : ils ont surtout du mal à élaborer une politique et une stratégie nationales encadrant leur programme, à créer un cadre juridique et un organisme de réglementation indépendant dans le domaine du nucléaire, à renforcer la

gestion de projets ou à développer une main-d'œuvre qualifiée.

Les participants à la dixième réunion technique sur les questions d'actualité relatives au développement des infrastructures électronucléaires, qui s'est tenue cette année du 2 au 5 février, étaient notamment des représentants de gouvernements nationaux, de futurs organismes propriétaires/exploitants, d'organismes de réglementation et d'autres institutions venus aussi bien de pays primo-accédants que de pays exploitant l'énergie d'origine nucléaire.

Exemples à l'appui, les primo-accédants participants ont examiné différentes questions, notamment celle de la difficulté qu'il y a à élaborer un cadre réglementaire et une procédure d'autorisation. Pour Per Lindell (Suède), coprésident de la réunion, « une autorité de réglementation bien informée et indépendante est essentielle pour équilibrer le rôle de l'exploitant d'une centrale nucléaire et définir en toute transparence des normes de sûreté nucléaire et une culture en la matière ».

Un développement par étapes

Pour Abdelmajid Caoui, ancien secrétaire général du Centre national de l'énergie, des sciences et des techniques nucléaires (CNESTEN)

du Maroc, l'autre coprésident de la réunion, « tous les primo-accédants ont adopté le document d'orientation sur l'approche par étapes établi par l'AIEA pour les aider à développer l'infrastructure de leur programme électronucléaire. Cela se traduit par l'attachement déclaré des États Membres à l'utilisation sûre et pacifique de l'énergie nucléaire, par le solide appui public sur lequel reposent leurs nouveaux programmes électronucléaires et par la création et la participation, dès le début du projet, d'un organisme de réglementation, d'un organisme propriétaire/exploitant et d'organismes d'appui technique. » Le Maroc, qui considère l'énergie nucléaire comme une source d'énergie viable, à faible émission de carbone, a accueilli en octobre 2015 une mission d'examen intégré de l'infrastructure nucléaire (INIR) menée par l'AIEA.

Le Bélarus construit actuellement sa première centrale nucléaire à Ostrovets. Deux tranches de 1 170 MWe devraient entrer en service d'ici à 2018 et 2020, respectivement. Au cours de la réunion, Mikhail Mikhadiuk, Vice-Ministre de l'énergie du Bélarus, a présenté la feuille de route et les grandes étapes du développement du programme électronucléaire de son pays.

« En 2008, déclare-t-il, le Bélarus a décidé de lancer un programme électronucléaire pour améliorer la sécurité de son approvisionnement énergétique en diversifiant ses ressources, réduire les coûts de production de l'électricité et limiter les émissions de gaz à effet de serre. Le programme électronucléaire que nous mettons actuellement en œuvre repose sur les normes de l'AIEA. » Le Bélarus a accueilli une mission INIR en 2012.

INIR : l'assistance de l'AIEA

« Les missions INIR constituent le service le plus important qu'un État Membre puisse demander en matière de développement de l'infrastructure nucléaire », déclare Mikhail Chudakov, Directeur général adjoint de l'AIEA et chef de son Département de l'énergie nucléaire. « J'encourage vivement les États Membres qui envisagent sérieusement d'adopter l'énergie

nucléaire d'examiner la possibilité d'accueillir une mission INIR. » Depuis 2009, l'AIEA a mené 17 missions de ce type dans 13 pays et dernièrement, elle a publié un document qui résume six années d'expérience en la matière.

Les participants ont également parlé des risques financiers, y compris des risques réglementaires, et des moyens de les atténuer. Compte tenu des fluctuations incessantes du prix de l'énergie et des coûts et de la complexité de l'énergie d'origine nucléaire, cette question, qui présente

un intérêt croissant pour les États Membres, devra être examinée dans le cadre de futures réunions de l'AIEA.

Par ailleurs, la mise en valeur des ressources humaines continue de poser des difficultés. En effet, non seulement les pays doivent trouver du personnel adapté et le former, mais il faut aussi qu'ils lui garantissent un emploi à l'issue de sa formation, par exemple si un programme prend du retard.

Parmi les considérations qui déterminent la décision de nombreux États Membres de se lancer dans

un programme électronucléaire, la planification énergétique est la première qui les porte à envisager l'énergie d'origine nucléaire. Ces études déboucheront sur de nouvelles analyses menées dans le cadre d'études de pré-faisabilité et de rapports complets. L'AIEA publiera prochainement de nouvelles orientations sur ce processus et sur l'élaboration d'une position nationale, ainsi que plusieurs autres publications utiles aux pays envisageant d'adopter l'électronucléaire.

— Par Lenka Kollar et Elisabeth Dyck

Prescriptions de sûreté et procédures d'autorisation applicables aux petits réacteurs modulaires : l'AIEA organise son premier atelier à l'intention des organismes de réglementation

Alors qu'une nouvelle génération de réacteurs nucléaires de puissance avancés et préfabriqués, les petits réacteurs modulaires (PRM), pourrait être autorisée et commercialisée dès 2020, l'AIEA aide les organismes de réglementation à s'y préparer. Dans le cadre d'une série d'ateliers lancée en début d'année, l'Agence collabore étroitement avec ces organismes pour définir des approches en matière de sûreté et des procédures d'autorisation, dans l'optique du déploiement éventuel de PRM à l'échelle mondiale.

Au cours d'un de ces ateliers, qui s'est tenu à Vienne en janvier 2016, les participants, représentants de l'Agence arabe de l'énergie atomique (AAEA) et du Réseau arabe des organismes de réglementation nucléaire, ont notamment été informés des prescriptions et des lignes directrices en matière de sûreté et des procédures d'autorisation applicables aux PRM.

« Les petits réacteurs modulaires constituent une solution très intéressante pour le monde arabe, où plus de la moitié des pays n'ont pas les ressources nécessaires pour construire de grandes centrales nucléaires classiques. Plus faciles à réaliser et à gérer et nécessitant moins d'investissements, ces PRM représentent en effet une option très réaliste pour les pays arabes », déclare Abdelmajid Mahjoub, Directeur général de l'AAEA et président de l'atelier.

Coparrainé par la Commission de la réglementation nucléaire (États-Unis), cet atelier a réuni des organismes de réglementation, des exploitants et d'autres



Les progrès de la technologie des PRM. (Image : AIEA)

organisations gouvernementales travaillant ou appelés à travailler à la mise en place des infrastructures techniques et de sûreté requises dans chaque pays pour les PRM.

Les participants ont reçu des informations détaillées sur le rôle des organismes de réglementation et les prescriptions déterminant l'obtention d'autorisations, notamment sur la procédure d'approbation de la conception, du choix du site et de l'exploitation des PRM. L'AIEA a animé des débats entre organismes de réglementation sur les normes de sûreté à

appliquer et sur les amendements éventuels à apporter aux réglementations nationales.

Petits et sûrs

Les PRM (dont la puissance ne dépasse pas 300 MWe) étant constitués de modules préfabriqués, leur construction sera plus rapide et devrait être intéressante d'un point de vue économique. Quatre PRM sont déjà en cours de construction dans trois pays. « Bien que les réacteurs nucléaires de puissance de la prochaine

génération soient plus petits, les mesures de sûreté et de sécurité qui s’y appliquent ne sont pas différentes des obligations internationales auxquelles sont soumis les réacteurs actuels », déclare Stewart Magruder, spécialiste de la sûreté nucléaire à l’AIEA.

La plupart des normes mondiales de sûreté et de sécurité applicables aux réacteurs nucléaires de puissance en service ou en cours de construction s’appliquent également aux PRM. Pour Greg Rzentkowski, Directeur de la Division de la sûreté des installations nucléaires de l’AIEA, « il faut définir un ensemble de prescriptions de sûreté et de procédures d’autorisation claires et pragmatiques. En effet, une réglementation précise est essentielle au succès du déploiement des PRM. »

L’AIEA coordonnera les travaux supplémentaires qui seront menés dans ce domaine au cours des années à venir. Selon Greg Rzentkowski, il s’agira probablement de définir un objectif global de sûreté et d’élaborer un document d’orientation sur la définition de prescriptions en fonction du type et de la taille de l’installation.

Mettre au point, évaluer et déployer

Les modules préfabriqués de ces réacteurs nucléaires peuvent être acheminés vers des destinations précises, tout comme des composants manufacturés sont transportés d’une zone industrielle à une autre. Pour

les pays et les utilisateurs, les avantages possibles de l’exploitation commerciale de ces PRM sont immenses. Elle permet par exemple d’approvisionner en électricité des régions reculées qui en ont grand besoin, contribuant ainsi à dynamiser l’approvisionnement énergétique mondial.

La mise au point des PRM a commencé il y a près de vingt ans. Aujourd’hui, plusieurs pays déploient des prototypes, chacun de son côté. L’AIEA a observé une nette augmentation de la participation des États Membres au développement de la technologie des PRM, ce qui témoigne des vastes possibilités qu’offre le déploiement de ces réacteurs pour ce qui est du développement des réseaux électriques nationaux et de l’amélioration de la sécurité énergétique.

Actuellement, l’AIEA élabore aussi une feuille de route technologique en vue du déploiement des PRM et mène une étude sur les indicateurs de déploiement de ces réacteurs dans les pays en développement, afin d’aider les États Membres à mettre au point, à évaluer ou à déployer des PRM.

Situation actuelle

Une cinquantaine de modèles de PRM destinés à des applications variées sont en cours de mise au point et quatre réacteurs sont en construction : le CAREM-25, un prototype industriel, en Argentine ; le KLT-40S et le RITM-200, des PRM flottants, en Fédération de Russie ; et le HTR-PM (réacteur modulaire à lit de boulets à haute température), une centrale

industrielle de démonstration, en Chine. L’année dernière, l’autorité saoudienne de l’énergie atomique a signé un accord avec la République de Corée pour construire un PRM baptisé SMART (réacteur avancé modulaire intégré) en Arabie saoudite. Même les producteurs classiques de combustible fossile s’intéressent aujourd’hui aux PRM, qui peuvent approvisionner les réseaux électriques nationaux et régionaux en énergie plus diversifiée.

Pour Hadid Subki, ingénieur nucléaire de la Section du développement de la technologie électronucléaire de l’AIEA, « les PRM comptent parmi les réacteurs qui font appel aux technologies les plus évoluées pour répondre aux besoins énergétiques de demain, c’est pourquoi les États Membres doivent bien connaître les normes et les règles applicables en matière de sûreté pour pouvoir déployer ce nouveau type de réacteur de puissance ».

Le prochain atelier de l’AIEA sur les prescriptions de sûreté et les procédures d’autorisation applicables aux PRM se tiendra en juin 2016 et s’adressera aux membres du Forum des organismes de réglementation nucléaire en Afrique

— Par Aabha Dixit et Miklos Gaspar

Stockage définitif de sources radioactives : l’AIEA franchit une étape

Une technologie prometteuse de transfert et d’entreposage de sources radioactives scellées de faible activité ayant été soumise à des essais qui se sont révélés probants, une nouvelle méthode de stockage définitif de petits volumes de déchets radioactifs pourrait être adoptée partout dans le monde. Cette méthode, qui consiste à placer et à recouvrir des sources scellées dans un puits étroit à quelques centaines de mètres de profondeur, permettrait aux pays de stocker de manière sûre et sécurisée leurs propres sources radioactives retirées du service. L’essai de validation de cette technologie a été effectué en Croatie en fin d’année dernière, mais sans matières radioactives.

Presque tous les pays utilisent des sources radioactives dans des secteurs tels que la santé ou l’industrie. Toutefois, nombre d’entre eux ne disposent pas de l’équipement ou du personnel nécessaire pour gérer ces sources une fois retirées du service. En règle générale, d’après les estimations de l’AIEA, un pays en développement qui utilise des sources radioactives scellées peut produire, en plusieurs années, des centaines de sources retirées du service de faible activité.

« Ce sont les sources de faible activité qui posent le plus de difficultés, parce qu’elles se trouvent en grandes quantités partout dans le monde et sous des formes diverses », explique Andrew Tompkins, ingénieur nucléaire à l’AIEA.

Dans la plupart des pays en développement, les sources radioactives scellées font l’objet d’un entreposage provisoire, tandis que dans certains pays développés, des installations de stockage définitif sont mises en place près de la surface. Ces deux solutions constituent un risque en matière de sécurité si les sources ne sont pas suffisamment protégées. La nouvelle méthode de stockage définitif apporte par conséquent une solution à long terme à cette difficulté et contribuera, en définitive, à protéger la population et l’environnement.

Les essais de matériel effectués par les ingénieurs de l’AIEA et une société croate de radioprotection confirment la faisabilité de ce système, qui permet de déplacer et



Des ingénieurs de l'AIEA et une société croate de radioprotection mettent à l'essai un nouveau système permettant de stocker définitivement, de manière sûre et sécurisée, des sources de faible radioactivité dans des puits. [Photo: L. Gil (AIEA)]

d'insérer de manière sûre des sources de faible activité dans des puits pour les y stocker définitivement.

La technologie mise à l'essai, conçue pour des sources de faible activité retirées du service, utilise une solide plateforme métallique et un conteneur mobile, appelé château de transport, qui sert à déplacer les sources dans le puits de manière sûre. Pour János Balla, ingénieur en technologie des déchets à l'AIEA, « c'est une technique simple, abordable, qui peut être déployée partout dans le monde. »

« Nous avons compris, explique-t-il, que les pays où les déchets étaient de faible activité, les infrastructures modestes et les ressources humaines et financières limitées avaient besoin d'une solution sûre, simple et pratique. »

Prévention du vol et du terrorisme

Le renforcement de la sécurité nucléaire est un facteur important à l'origine du développement de cette nouvelle méthode. « Étant donné que les sources retirées du service restent radioactives, nous voulons limiter le risque qu'elles soient dérobées et utilisées à des fins terroristes », déclare Gert Liebenberg, spécialiste de la sécurité

nucléaire à l'AIEA. « Une fois qu'elles sont au fond du puits, personne ne peut plus y accéder facilement. »

L'idée du puits a été élaborée, à l'origine, par l'organisme sud-africain South African Nuclear Energy Corporation (NECSA), puis l'AIEA l'a adaptée de manière à permettre le stockage définitif de sources ayant une radioactivité plus élevée. Aujourd'hui, des préparatifs techniques et des évaluations de la sûreté sont en cours dans plusieurs pays, notamment en Malaisie et aux Philippines, en vue de l'application de la méthode de stockage en puits dans les années à venir.

L'AIEA est prête à former des experts à cette méthode dans les pays intéressés, et à leur apporter l'aide dont ils ont besoin pour construire leurs propres châteaux de transport, en leur fournissant soit du matériel, soit des spécifications techniques. La technologie employée pour forer les puits étant comparable à celle utilisée pour extraire l'eau, elle est facile à trouver dans la plupart des pays, y compris les moins développés.

Traitement des sources

Les sources radioactives sont communément utilisées en médecine

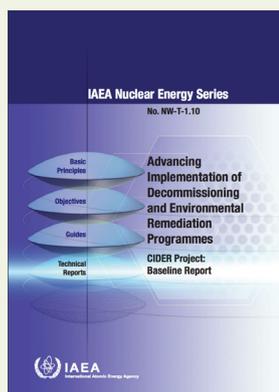
et dans l'industrie, que ce soit dans les appareils de radiothérapie destinés à traiter le cancer ou dans les outils industriels de stérilisation des fournitures médicales jetables. Les sources scellées les plus courantes sont de faible radioactivité ou ont une période courte, ce qui signifie qu'elles ne vont rester radioactives que de quelques mois à quelques centaines d'années.

Avant d'être stockées définitivement, toutes les sources sont traitées et placées dans un nouvel emballage, dans le cadre d'un processus appelé conditionnement. Lorsqu'elles sont conditionnées suivant cette méthode en vue de leur stockage définitif, des centaines de sources — la quantité annuelle que produit habituellement un pays en développement — occupent moins d'un mètre cube, soit le volume d'une petite armoire.

Une fois que le puits est en place, les sources conditionnées sont chargées dans un conteneur conçu à cet effet, le colis de stockage définitif, qui est ensuite scellé. Ce conteneur scellé est alors placé à l'intérieur du château de transport et transféré à l'intérieur du puits.

— Par Laura Gil

Nouvelles publications



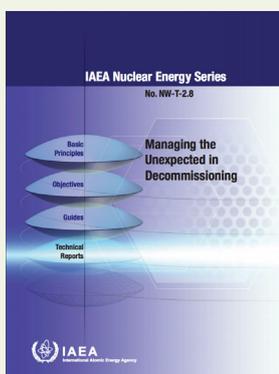
Advancing Implementation of Decommissioning and Environmental Remediation Programmes

CIDER PROJECT: Baseline Report

Cette publication étudie les obstacles à la mise en œuvre des projets de déclasserment et de remédiation de l'environnement et propose des solutions pour les surmonter. Bien que des progrès importants aient été accomplis au cours des dernières années, il reste beaucoup à faire pour régler les dossiers hérités des débuts du développement de l'énergie nucléaire, notamment en procédant au démantèlement d'installations du cycle du combustible et de recherche et de centrales nucléaires redondantes et à la remédiation de sites contaminés dans le passé par des opérations d'extraction et de traitement du minerai d'uranium. Quelques pays s'y emploient et ont mis en place, à cette fin, les ressources et les compétences techniques nécessaires, mais la mise en œuvre de nombreux programmes nationaux reste semée d'embûches.

IAEA Nuclear Energy Series No. NW-T-1.10; ISBN: 978-92-0-101316-3; 37 euros ; 2016

www-pub.iaea.org/books/IAEABooks/10993/CIDER (en anglais)

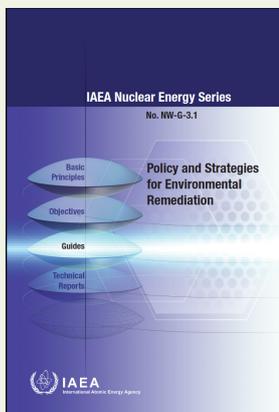


Managing the Unexpected in Decommissioning

Cette publication étudie les conséquences des événements imprévus qui peuvent survenir au cours d'opérations de déclasserment et les moyens de les atténuer. Elle propose des conseils pratiques pour planifier et gérer des projets de déclasserment en prenant en compte les imprévus. Elle donne des exemples de situations dans lesquelles des événements imprévus ont contraint les parties concernées à suspendre ou remettre en question les travaux de déclasserment. Cette publication évalue des solutions mises en œuvre dans le passé pour surmonter des difficultés liées au déclasserment. Elle permettra ainsi aux futures équipes de déclasserment de tirer des enseignements de ces expériences pour parvenir à réduire les coûts additionnels, le retard pris dans les opérations et l'exposition inutile aux rayonnements.

IAEA Nuclear Energy Series No. NW-T-2.8; ISBN: 978-92-0-103615-5; 35 euros ; 2016

www-pub.iaea.org/books/IAEABooks/10786/Unexpected (en anglais)



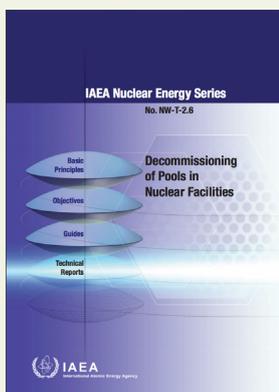
Policy and Strategies for Environmental Remediation

Cette publication décrit les objectifs des programmes de remédiation de l'environnement, leurs calendriers d'exécution et les mesures à prendre pour les mettre en œuvre. Elle explique les différences qui existent entre une politique et une stratégie et fournit des conseils aux États Membres sur l'élaboration et la présentation de ces deux types de documents. Elle traite de questions telles que la répartition des coûts et les différents intérêts des parties concernées par la remédiation de l'environnement.

Comme les précédentes publications de l'AIEA sur la remédiation de l'environnement envisagée sous l'angle de la sûreté, cette publication aidera les autorités nationales à comprendre que la remédiation de l'environnement est un élément qu'il faut prendre en compte dans la planification et l'exécution d'initiatives dans le domaine du nucléaire.

IAEA Nuclear Energy Series No. NW-G-3.1; ISBN: 978-92-0-103314-7; 20 euros ; 2015

www-pub.iaea.org/books/IAEABooks/10622/Policy (en anglais)



Decommissioning of Pools in Nuclear Facilities

Cette publication décrit les aspects techniques et la planification du déclasserment des piscines d'installations nucléaires. Elle passe en revue les opérations qui ont été menées partout dans le monde et examine notamment la planification de ces projets, les questions de santé et de sûreté et la gestion des déchets produits au cours de ces opérations.

Un certain nombre d'installations nucléaires utilisent des piscines pour refroidir le combustible utilisé ou protéger les cœurs des réacteurs de recherche ou les sources des irradiateurs. Au cours de leur vie utile, qui peut durer plusieurs dizaines d'années, ces piscines peuvent finir par être contaminées par les substances radioactives qui s'y déposent. Bien qu'on trouve ici et là, dans la documentation technique, des descriptions d'opérations de déclasserment de piscines, aucun rapport n'avait encore traité de façon aussi complète des stratégies et des technologies de décontamination et de démantèlement des piscines contaminées.

IAEA Nuclear Energy Series No. NW-T-2.6; ISBN: 978-92-0-103115-0; 55 euros ; 2015

www-pub.iaea.org/books/IAEABooks/10669/Pools (en anglais)

Third International Conference on Nuclear Knowledge Management Challenges and Approaches

7–11 November 2016, Vienna, Austria



Organized by the



In cooperation with the OECD/Nuclear Energy Agency (NEA)



CN-241