

IAEA BULLETIN

AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE

La publication phare de l'AIEA | Juin 2018



L'URANIUM

De la prospection à la remédiation

Aspects économiques de l'extraction d'uranium : des cycles fluctuants, p. 4

L'AIEA dévoile une carte unique en son genre des réserves mondiales d'uranium, p. 12

Nouveau plan directeur stratégique pour la coordination de la remédiation des anciens sites de production d'uranium en Asie centrale, p. 20



IAEA

Agence internationale de l'énergie atomique
L'atome pour la paix et le développement

Et aussi :
Infos AIEA



Le Bulletin de l'AIEA

est produit par
le Bureau de l'information
et de la communication (OPIC)
Agence internationale de l'énergie atomique
Centre international de Vienne
B.P. 100, 1400 Vienne (Autriche)
Téléphone : (43-1) 2600-0
iaeabulletin@iaea.org

Rédaction : Miklos Gaspar
Direction de la rédaction : Laura Gil
Conception et production : Ritu Kenn

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

www.iaea.org/bulletin

Des extraits des articles du Bulletin peuvent être utilisés librement à condition que la source soit mentionnée. Lorsqu'il est indiqué que l'auteur n'est pas fonctionnaire de l'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 : Orano

Suivez-nous sur :



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

Créée en 1957 en tant qu'organe autonome, l'AIEA est le seul organisme des Nations Unies à être spécialisé dans les technologies nucléaires. Ses laboratoires spécialisés uniques au monde aident au transfert de connaissances et de compétences à ses États Membres dans des domaines comme la santé humaine, l'alimentation, l'eau, l'industrie et l'environnement.

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

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

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

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

L'AIEA a son siège au Centre international de Vienne. Elle a des bureaux locaux et des bureaux de liaison à Genève, New York, Tokyo et Toronto. Elle exploite des laboratoires scientifiques à Monaco, Seibersdorf et Vienne. En outre, elle apporte son appui et contribue financièrement au fonctionnement du Centre international Abdus Salam de physique théorique de Trieste (Italie).

Garantir l'approvisionnement sûr, sécurisé et durable de l'uranium

Par Yukiya Amano, Directeur général de l'AIEA

L'uranium est le principal combustible utilisé dans l'électronucléaire, technologie sobre en carbone importante permettant de produire de l'électricité. À l'heure actuelle, 451 réacteurs nucléaires de puissance, qui assurent environ 11 % de la production mondiale d'électricité, sont en exploitation dans 30 pays. D'après les projections de l'AIEA, la capacité électronucléaire mondiale devrait augmenter d'ici à 2050, bien qu'il reste à savoir si la hausse sera modeste ou importante.

Les estimations laissent à penser que le monde disposera de suffisamment d'uranium pour couvrir les besoins pendant plusieurs décennies. Cependant, afin d'éviter une pénurie, il est important que l'uranium soit extrait, produit et géré de manière durable. Les nouvelles générations de réacteurs nucléaires de puissance qui, selon la technologie utilisée, nécessitent moins d'uranium, comme les réacteurs de faible ou moyenne puissance ou les petits réacteurs modulaires, auront un rôle fondamental à jouer dans la gestion durable de cette ressource essentielle.

C'est à chaque pays que revient la décision de recourir ou non à l'électronucléaire et d'extraire ou non de l'uranium. L'AIEA ne s'immisce pas dans cette décision. Toutefois, si les pays font le choix de l'électronucléaire ou décident d'étudier la possibilité de produire de l'uranium, le rôle de l'AIEA est de les aider à le faire de manière sûre, sécurisée et durable. La responsabilité de la sûreté et de la sécurité nucléaires incombe aussi aux pays ; le rôle de l'AIEA est d'encourager ceux-ci à convenir de normes internationales et à tirer des enseignements de l'expérience de chacun. Grâce à ses services consultatifs, à ses missions et à ses conseils d'experts, l'AIEA aide les autorités nationales à garantir la gestion sûre et sécurisée de l'uranium tout au long de son cycle de vie.

La présente édition du Bulletin de l'AIEA porte sur l'état du secteur et son avenir possible. Elle donne un aperçu de l'assistance que fournit l'AIEA aux pays dans les domaines de l'extraction, du traitement et de la remédiation

de l'uranium, mais aussi des paramètres économiques de la production d'uranium (lire en page 4). Elle inclut par ailleurs une étude de cas sur un projet d'extraction d'uranium en Tanzanie, élaboré en partant de zéro (lire en page 6). Vous y découvrirez aussi comment l'approche par étapes de l'AIEA, méthode qui encourage les pays et les organisations à œuvrer de manière systématique à l'introduction de l'électronucléaire, est appliquée à la production d'uranium (lire en page 10).

Vous pourrez en apprendre plus sur une carte des gisements d'uranium unique en son genre, récemment mise en ligne par l'AIEA (lire en page 12). En page 14, des spécialistes des garanties de l'AIEA présentent un volet moins connu de leur travail de vérification nucléaire : la préservation des mines d'uranium. En page 18, des spécialistes du transport australiens et malawiens soulignent l'importance de garantir la sûreté et la sécurité dans le transport de l'uranium. Vous découvrirez également le plan directeur stratégique qui a récemment été publié et qui établit un cadre pour la remédiation des anciennes mines d'uranium en Asie centrale (lire en page 20). La présente édition du Bulletin de l'AIEA consacre par ailleurs un article au site d'Oklo, seul réacteur nucléaire naturel connu au monde, âgé de deux milliards d'années (lire en page 26), et donne un aperçu éclairé de l'avenir de l'uranium (lire en page 24).

Le Colloque international sur l'uranium, matière première du cycle du combustible nucléaire : exploration, extraction, production, offre et demande, économie et questions environnementales, réunit des spécialistes et des parties intéressées travaillant dans de nombreux domaines, pour qu'ils examinent les études les plus récentes et les questions actuelles relatives à tous les aspects de la partie initiale du cycle du combustible nucléaire.

Cette édition du Bulletin de l'AIEA vous permettra, je l'espère, de mieux connaître ce pan moins connu, mais fascinant et important, de nos travaux.



« Grâce à ses services consultatifs, à ses missions et à ses conseils d'experts, l'AIEA aide les autorités nationales à garantir la gestion sûre et sécurisée de l'uranium tout au long de son cycle de vie. »

— Yukiya Amano,
Directeur général de l'AIEA



(Photo : C. Brady/AIEA)



(Photo : C. Brady/AIEA)



(Photo : Rosatom)

Avant-propos



1 Garantir l'approvisionnement sûr, sécurisé et durable de l'uranium



4 Aspects économiques de l'extraction d'uranium : des cycles fluctuants



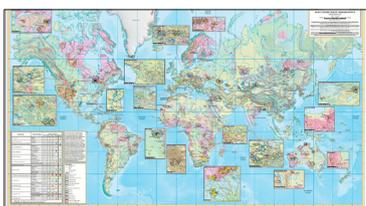
6 Prospection de l'uranium : les progrès accomplis par la Tanzanie en cinq ans



8 L'extraction d'uranium, comment ça marche ?



10 Testée et approuvée : l'approche par étapes de l'AIEA désormais appliquée à la production d'uranium



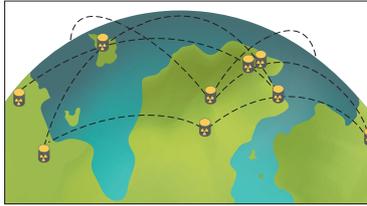
12 L'AIEA dévoile une carte unique en son genre des réserves mondiales d'uranium



14 L'application des garanties de l'AIEA dans les mines d'uranium donne un tableau plus complet des activités nucléaires d'un pays



16 Phases de l'extraction d'uranium



18 Garantir la sûreté et la sécurité d'une ressource naturelle vitale pour la filière nucléaire lors de son transport



20 Un nouveau plan directeur stratégique pour la coordination de la remédiation des anciens sites de production d'uranium en Asie centrale



22 Lixiviation de l'uranium : Comment obtient-on du concentré d'uranium ?



24 L'uranium, future source d'énergie durable ?



26 Découvrez Oklo, le seul réacteur nucléaire naturel connu au monde vieux de deux milliards d'années

Dans le monde

28 Point de vue d'un initié sur la production d'uranium : état, perspectives et défis

— Par Alexander Boytsov

Infos AIEA

30 L'AIEA renforce encore les capacités de lutte contre les cancers pédiatriques

30 Une application de jeux en ligne remporte le concours de l'AIEA pour les lycéens

31 L'AIEA lance un pôle de renforcement des capacités en matière d'énergie nucléaire

32 Publications

Aspects économiques de l'extraction d'uranium : des cycles fluctuants

Par Miklos Gaspar et Noah Mayhew

Selon de nombreux dirigeants industriels, l'extraction d'uranium s'apparente à l'extraction de n'importe quel autre métal de base et comprend les phases suivantes : prospection, octroi d'autorisation, terrassement et, enfin, fermeture de la mine au terme de sa durée de vie utile. Cependant, si l'on prend en compte la radioprotection, la gestion à long terme des déchets radioactifs et l'absence d'adhésion du public à ce secteur dans certains pays, l'extraction d'uranium s'avère manifestement plus complexe que l'extraction d'autres métaux. Les aspects économiques de cette activité sont eux aussi complexes. En effet, les prix de l'uranium n'ont jamais été aussi volatils qu'au cours des dix dernières années : après avoir culminé à 300 \$ É.-U./kg en 2007, ils ont plongé à 41 \$ É.-U./kg en 2016 (voir le graphique).

« Ces dernières années, les prix ont diminué du fait du gonflement des stocks excédentaires de concentré d'uranium, qui s'explique par une hausse de la production conjuguée à une baisse de la demande », a affirmé Brett Moldovan, spécialiste de la production d'uranium à l'AIEA. D'après lui, compte tenu du prix actuel de l'uranium, l'exploitation d'un grand nombre de mines représente un défi sur le plan économique.

Étant donné que les prix se maintiennent aujourd'hui autour de 49 \$ É.-U./kg, de nombreuses mines d'uranium parmi les plus grandes du monde font l'objet d'un plan d'entretien et de maintenance.

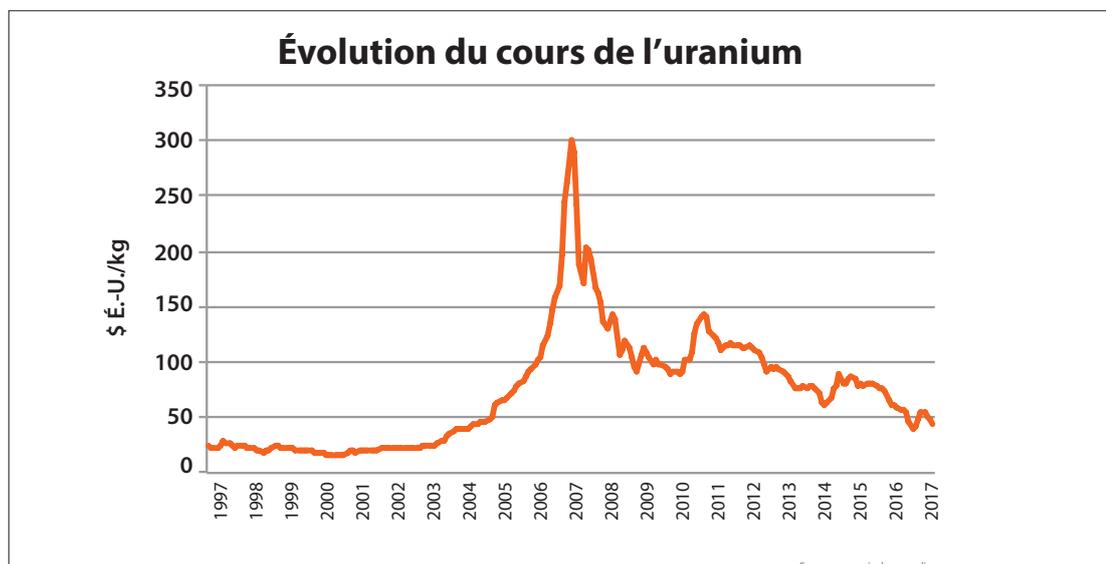
« Il sera rentable de reprendre les activités lorsque le prix au comptant de l'uranium sera supérieur au coût de production et que les prévisions indiqueront une stabilité ou une augmentation de ce prix. Le niveau de tarification requis pour redémarrer les opérations est différent pour chaque mine, car les coûts d'exploitation varient », a précisé Brett Moldovan. « Les pics du prix de l'uranium

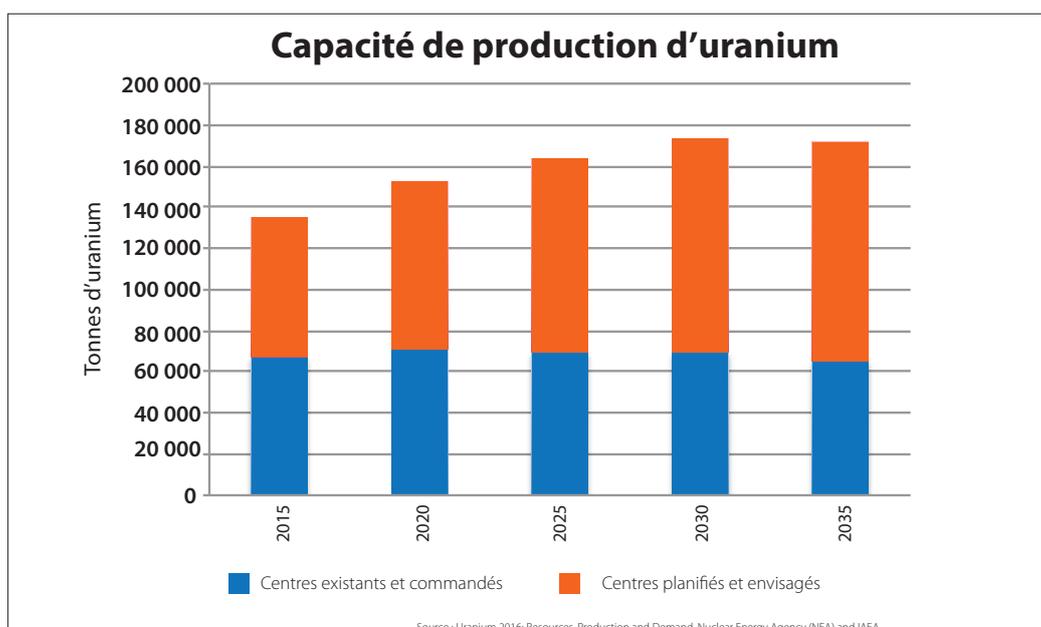
sont souvent de courte durée, tandis que les creux peuvent durer des dizaines d'années. »

La demande d'uranium est essentiellement fonction de l'électronucléaire. Il y a actuellement 451 centrales nucléaires en exploitation dans le monde et 59 en construction, tandis que cinq ont été définitivement mises à l'arrêt en 2017 et quatre en 2016. Selon les prévisions de l'Agence internationale de l'énergie (AIE), la consommation mondiale d'énergie augmentera de 18 % d'ici 2030 et de 39 % d'ici 2050, mais on ignore dans quelle mesure l'électronucléaire pourra répondre à cette demande croissante.

La projection basse de l'AIEA indique que la production mondiale d'énergie d'origine nucléaire diminuera progressivement jusqu'en 2040, avant de renouer avec les niveaux actuels d'ici 2050. Ce scénario est conçu de façon à donner une estimation prudente. La projection haute prévoit, quant à elle, une augmentation de la capacité de production électronucléaire de 42 % d'ici 2030 et de 123 % d'ici 2050, par rapport aux niveaux de 2016. Elle suppose que les taux de croissance économique actuels se maintiendront et que l'intérêt pour l'électronucléaire continuera de grandir, notamment en Asie de l'Est.

Bien que l'uranium ne représente que 5 à 10 % du prix de l'électricité d'origine nucléaire, il est néanmoins indispensable à la viabilité à long terme de l'industrie. D'après la dernière édition de la publication intitulée Uranium 2016 : Resources, Production and Demand, référence mondiale reconnue dans le domaine de l'uranium et élaborée conjointement par l'Agence pour l'énergie nucléaire (AEN) et l'AIEA, l'approvisionnement mondial en énergie primaire est assuré au moins jusqu'en 2035 dans la projection basse de la croissance de





l'électronucléaire. Les ressources d'uranium connues permettent de couvrir la demande sur une période d'environ 118 ans, si celle-ci se maintient au niveau actuel, voire plus longtemps, si l'on tient compte des ressources non découvertes (voir le graphique).

Investir dans une mine d'uranium

L'ouverture d'une mine d'uranium nécessite un investissement important et demande beaucoup de temps, sachant que 10 à 15 ans sont souvent nécessaires avant que la mine puisse être exploitée. Le coût du matériel servant à extraire et à préparer le minerai d'uranium pour le transformer en concentré d'uranium – processus qui a généralement lieu sur place – s'élève à plus de 100 millions de dollars É.-U. et peut même atteindre des milliards de dollars É.-U. C'est pourquoi les sociétés privées tout comme les entités publiques doivent examiner attentivement les paramètres économiques à long terme avant d'ouvrir une mine. De nombreux pays qui débutent dans l'extraction d'uranium, comme le Botswana et la Tanzanie, ont fait appel à l'expertise et à l'assistance de l'AIEA pour mettre en place l'infrastructure et les cadres juridiques, environnementaux et réglementaires nécessaires. Les mines ouvertes dans ces pays sont à un stade avancé de prospection, dans l'attente d'un environnement économique plus favorable.

La plupart des contrats conclus dans le secteur de l'uranium sont de longue durée, et comportent des clauses établissant des prix plafonds et des prix planchers afin de protéger respectivement les clients et les mines. Bien que les prix au comptant influent sur le prix global du marché, l'évolution est lente. Suivant le cours du marché et le niveau de son programme électronucléaire, un pays a parfois plus intérêt à importer de l'uranium qu'à en extraire sur son propre territoire.

Certains pays, comme la Chine et l'Inde, exploitent des mines avant tout pour garantir la sécurité de l'approvisionnement national, et les aspects économiques, bien qu'importants, sont relégués au second plan. À l'heure actuelle, néanmoins, la plupart des sites d'extraction d'uranium dans le monde ont une vocation commerciale. Dans des pays comme l'Australie, le Kazakhstan et la Namibie, les mines d'uranium sont exploitées à des fins d'exportation, tandis que dans d'autres, comme le Canada, l'uranium est destiné tant à la consommation nationale qu'à l'exportation.

Qu'en est-il de l'avenir ? La demande d'uranium devrait augmenter à long terme, de même que les prix. Il est cependant difficile de prédire à quel moment et dans quelle mesure ils le feront, notamment au vu de la réticence de la population, dans de nombreux pays, en ce qui concerne l'investissement dans l'électronucléaire.

« En raison du scepticisme du public à l'égard de l'industrie minière en général, les mesures précédemment prises par le secteur, telles que le renforcement de la responsabilité sociale des entreprises ou des initiatives de ce type favorisant la participation des parties prenantes, ont perdu en efficacité », a déclaré Hussein Allaboun, directeur de la Société jordanienne d'extraction d'uranium.

La Jordanie est l'un des nombreux pays qui étudient la possibilité de produire de l'uranium. Elle a mené des études de faisabilité et a construit une centrale pilote en vue de recueillir les données industrielles et techniques nécessaires. « Soucieux de disposer d'une source d'énergie fiable, le pays prévoit d'intégrer ce projet dans un programme national de transformation de l'énergie nucléaire », a conclu Hussein Allaboun.

Prospection de l'uranium : les progrès accomplis par la Tanzanie en cinq ans

Par Aabha Dixit



Prélèvement d'échantillons de l'environnement dans la rivière Mkuju en vue de mesurer le rayonnement de fond avant le début de l'extraction.

(Photo : Firmi P. Banzi/Commission tanzanienne de l'énergie atomique)

D'après des experts locaux, la Tanzanie se situe à un stade avancé de la prospection d'uranium, et prévoit de lancer des opérations d'extraction sur son premier site minier approuvé dès que les conditions économiques seront favorables et que le prix de l'uranium aura augmenté. L'AIEA a aidé le pays à lancer son programme d'extraction d'uranium, notamment, en 2013, dans le cadre d'une mission consultative visant à mettre le projet sur pied.

« En l'espace de cinq ans, de grands progrès ont été accomplis », affirme Dennis A. Mwalongo, chef du Département des rayonnements ionisants à la Commission tanzanienne de l'énergie atomique (TAEC). « Le gouvernement a travaillé activement à la mise en œuvre des recommandations formulées par l'Équipe d'évaluation de sites de production d'uranium (UPSAT) de l'AIEA, notamment à l'élaboration de mesures juridiques et réglementaires appropriées, conformes aux prescriptions internationales. »

Il ajoute que le gouvernement a achevé la première phase de construction du complexe de laboratoires de la TAEC, qui offrira des services de radioanalyse et d'étalonnage permettant de faciliter le contrôle réglementaire de l'extraction d'uranium dans le pays et la région.

Le lancement de l'extraction d'uranium nécessite une planification à long terme, qui passe notamment par des études des sites de prospection sélectionnés et des évaluations du sol, ainsi que par la sensibilisation du public et la création de capacités. « Pour ce

faire, la mission UPSAT de l'AIEA a établi une base en proposant une évaluation complète des possibilités d'extraction d'uranium en Tanzanie », explique M. Mwalongo.

Sur le site de la rivière Mkuju, où est mis en œuvre le projet d'uranium le plus avancé de la Tanzanie, 36 000 tonnes d'uranium ont été mesurées et identifiées, ainsi que 10 000 tonnes de réserves présumées. Le site sera exploité par Uranium One, société russe d'extraction d'uranium qui prévoit de produire 1 400 tonnes d'uranium par an. « L'extraction d'uranium contribuera au développement socioéconomique durable de la Tanzanie. Un autre objectif important est de développer le port maritime de Dar es Salaam aux fins du transport et de l'exportation d'uranium », ajoute M. Mwalongo.

Pour répondre à la demande énergétique croissante, la Tanzanie prévoit de se tourner vers l'électronucléaire en se fondant sur la loi de 2003 sur l'énergie atomique, qui autorise le recours à l'uranium pour produire de l'électricité. Cette loi comprend des dispositions strictes prévoyant l'utilisation sûre de l'uranium. En prenant cette décision, la Tanzanie devient le premier pays en Afrique orientale et centrale s'appêtant à recourir à l'électronucléaire pour produire de l'électricité.

Améliorer les procédures internes grâce à la mission UPSAT

Les principales décisions visant à promouvoir et à assurer la production d'uranium sont fondées sur les recommandations de la mission UPSAT de l'AIEA, qui comprennent la mise en place d'une infrastructure réglementaire et d'une législation appropriée aux fins de l'extraction sûre d'uranium ainsi que l'harmonisation de la réglementation en vue de protéger les populations et l'environnement.

En attendant que cela se concrétise, la TAEC a élaboré une législation relative à la prospection, à la construction, à l'extraction et au traitement, à l'emballage et au transport de l'uranium ainsi qu'au déclassé final des sites d'extraction d'uranium recensés.

« Le gouvernement a clairement défini des orientations spécifiques relatives à la gestion des matières et des déchets radioactifs ainsi qu'à la protection des travailleurs, du public et de l'environnement », explique Dennis A. Mwalongo.

L'AIEA, la Commission européenne, la Commission de la réglementation nucléaire des États-Unis et la Commission canadienne de sûreté nucléaire ont assuré la création de

capacités, proposé des formations axées sur les compétences, mis à disposition un savoir-faire international et aidé au développement de compétences spécifiques.

Impliquer le grand public

L'extraction d'uranium est une activité diversifiée et complexe qui nécessite l'implication de toutes les parties prenantes, y compris du grand public.

Pour y parvenir, le gouvernement a organisé un certain nombre de campagnes et d'ateliers de sensibilisation du public en vue de faire mieux connaître les prescriptions réglementaires relatives à l'extraction d'uranium. Ce programme de sensibilisation cible les responsables du gouvernement central et des gouvernements locaux, les exploitants, les organismes de réglementation, les organisations non gouvernementales, les étudiants, les parlementaires et la société civile. Le cadre réglementaire vise à garantir la bonne gestion de l'extraction et de la préparation du minerai d'uranium par l'exploitant, sans nuire à la santé humaine et à l'environnement, explique M. Mwalongo.



Première phase de construction du laboratoire d'analyse de l'uranium de la Commission tanzanienne de l'énergie atomique

(Photo : D. Mwalongo/Commission tanzanienne de l'énergie atomique)



Le matériel du laboratoire d'analyse de l'uranium comprend un système de spectrométrie gamma, qui permettra aux autorités d'évaluer correctement l'uranium découvert dans le pays.

(Photo : D. Mwalongo/Commission tanzanienne de l'énergie atomique)



L'extraction d'uranium, comment ça marche ?

Comme les autres minéraux, l'uranium est généralement extrait de mines à ciel ouvert, lorsque le gisement est proche de la surface, ou de mines souterraines, lorsqu'il est plus profond. Si l'extraction est souterraine, il est indispensable que les mines soient très bien ventilées afin de limiter l'exposition des ouvriers au radon, gaz issu de la décroissance naturelle de l'uranium.

Globalement, la concentration d'uranium dans le minerai peut aller de quelques centaines de parties par million à plus de 20 %. Le minerai est transporté des mines traditionnelles aux installations de traitement, où l'uranium est purifié et concentré sous forme d'oxyde d'uranium. Au lieu de recourir à l'exploitation à ciel ouvert ou souterraine, il est possible, lorsque la géologie le permet, de pomper l'eau souterraine, dans laquelle des produits chimiques ont été injectés, à travers le gisement uranifère de façon à dissoudre l'uranium. Cette opération est appelée « lixiviation in situ ». Il s'agit d'injecter dans le minerai, grâce à un conduit, des solutions alcalines, comme celles préparées à partir d'hydrogénocarbonate de sodium, ou bien des solutions acides. L'uranium est alors séparé du minerai dans le sous-sol, puis la solution obtenue est pompée jusqu'à la surface, où l'uranium est récupéré.

Près de 60 000 tonnes d'uranium sont produites chaque année dans le monde. L'Australie, le Canada et le Kazakhstan, les trois plus grands producteurs d'uranium, produisent à eux seuls près de deux tiers de l'uranium dans le monde.

— Par Aabha Dixit



Mine d'uranium de Rössing
(Namibie)

(Photo : C. Brady/AIEA)

Testée et approuvée : l'approche par étapes de l'AIEA désormais appliquée à la production d'uranium

Par Ayhan Evrensel



La République tchèque, où se trouve la mine d'uranium de Dolní Rožínka, fait partie de la vingtaine de pays producteurs d'uranium.

(Photo : D. Calma/AIEA)

On prospecte l'uranium, on mène des études de faisabilité, on met au point le projet, on extrait l'uranium, on le traite et on le produit, on le transporte, on déclassifie le projet et on procède à la remédiation du site. Voilà. En apparence, rien de plus facile.

Mais est-ce bien le cas ?

De nombreux éléments peuvent influencer sur ce processus de production de l'uranium, combustible utilisé dans l'électronucléaire. Sur 170 États Membres de l'AIEA, une vingtaine produisent actuellement de l'uranium en diverses quantités. Une dizaine d'autres conduisent, ou ont achevé, des études en vue de se lancer éventuellement dans la production d'uranium.

Comment un pays souhaitant se mettre ou se remettre à produire de l'uranium pourra-t-il savoir comment s'y prendre ? Quelles étapes devra-t-il accomplir, bien avant de s'engager dans quoi que ce soit, afin de s'assurer que sa production sera sûre et durable ?

Avant d'entreprendre, pour la première fois ou non, l'extraction et le traitement de l'uranium, les pays doivent se poser un large éventail de questions. L'AIEA fournit des orientations relatives

à chacune de ces phases sous la forme de normes de sûreté, de publications, de réunions, de réseaux, etc. Il est temps de consolider ces orientations.

À la demande de plusieurs États Membres, l'AIEA a entrepris d'appliquer son approche par étapes à la production d'uranium.

L'approche par étapes de l'AIEA, en place depuis onze ans

En 2007, en réponse à la volonté croissante des États Membres d'inclure l'électronucléaire dans leur bouquet énergétique, l'AIEA a publié un document intitulé *Étapes du développement d'une infrastructure nationale pour l'électronucléaire*. Environ 10 à 15 ans s'écoulent entre le moment où un pays commence à envisager l'option électronucléaire et le moment où il met en service sa première centrale nucléaire ; l'approche par étapes permet de diviser cette période en trois phases : examen, préparation, construction. Lors de chaque phase, le pays doit régler 19 questions clairement définies, qui portent sur le cadre juridique et réglementaire, le renforcement des ressources humaines, la participation des parties prenantes ou encore la gestion des déchets radioactifs.

En 2012, cette approche a été adaptée aux réacteurs de recherche, car plusieurs États Membres envisageant d'en construire un souhaitent bénéficier de ce genre d'orientations. La publication intitulée *Specific Considerations and Milestones for a Research Reactor Project*, qui, là encore, distinguait trois phases (examen, préparation, construction) et énumérait 19 questions, visait à aider les autorités nationales à mieux se préparer à l'exploitation sûre, sécurisée et durable de réacteurs de recherche.

Aujourd'hui, cette approche est en cours d'application à la production d'uranium. Toutefois, ce n'est pas la même chose de se lancer pour la première fois dans l'extraction d'uranium, et dans l'électronucléaire ou les réacteurs de recherche.

« Théoriquement, un pays peut importer n'importe lequel de ces réacteurs et le faire construire ou le mettre en service en tous points du globe », explique Brett Moldovan, spécialiste de la production d'uranium à l'AIEA. « Mais l'uranium, on l'a ou pas, on le trouve ou pas. Nous voulons que les pays qui se lancent dans la production d'uranium comprennent qu'il s'agit d'un processus en plusieurs étapes. Qu'ils ne pourront poursuivre que s'ils découvrent quelque chose d'encourageant. Si c'est indiqué et financièrement viable. »

Les quatre phases de la production d'uranium

Ces considérations ont été prises en compte lors d'une réunion, organisée en décembre 2016, qui a donné le coup d'envoi à l'élaboration d'un document d'orientation, aujourd'hui sur le point d'être achevé.

D'après ces orientations, les États Membres sont susceptibles de se trouver dans quatre phases, auxquelles sont associées des étapes de préparation. On distingue :

- les pays qui envisagent de se lancer pour la première fois, ou après une longue interruption, dans la prospection ou l'extraction d'uranium, mais qui n'ont pas de projet concret ;
- les pays qui souhaitent se mettre/se remettre à extraire de l'uranium, dans le cadre d'un ou de plusieurs projet(s) concret(s) ;
- les producteurs d'uranium bien établis qui souhaitent développer leurs capacités actuelles ; et
- les producteurs de longue date qui possèdent des sites fermés ou en phase de fermeture, de réhabilitation/remédiation ou de suivi.

Le document présentera les points communs et les bonnes pratiques, et vise à aider les États Membres à recenser lors de chaque phase les domaines dans lesquels ils sont moins bien préparés, et de les conseiller sur la manière de s'engager dans la phase suivante.

« Mais ces phases ne sont pas clairement délimitées », précise Brett Moldovan. « Un État Membre peut se trouver simultanément dans plusieurs phases. Et même s'il excelle dans la prospection de l'uranium, qu'il a mis en œuvre des mesures, une législation et une réglementation satisfaisantes, et qu'il possède des experts qualifiés, un État Membre peut stagner en phase initiale, pour la seule raison qu'il n'a pas de gisement d'uranium. »

Le document d'orientation vise à indiquer aux États Membres le meilleur moyen de découvrir, d'extraire et de traiter l'uranium, et de décontaminer les sites de manière sûre à la fin de leur durée de vie utile, ajoute Brett Moldovan. « Notre but est de les aider à le faire correctement. »



Tunnel à 1 200 mètres sous terre dans la mine d'uranium de Dolní Rožínka (République tchèque).

(Photo : D. Calma/AIEA)

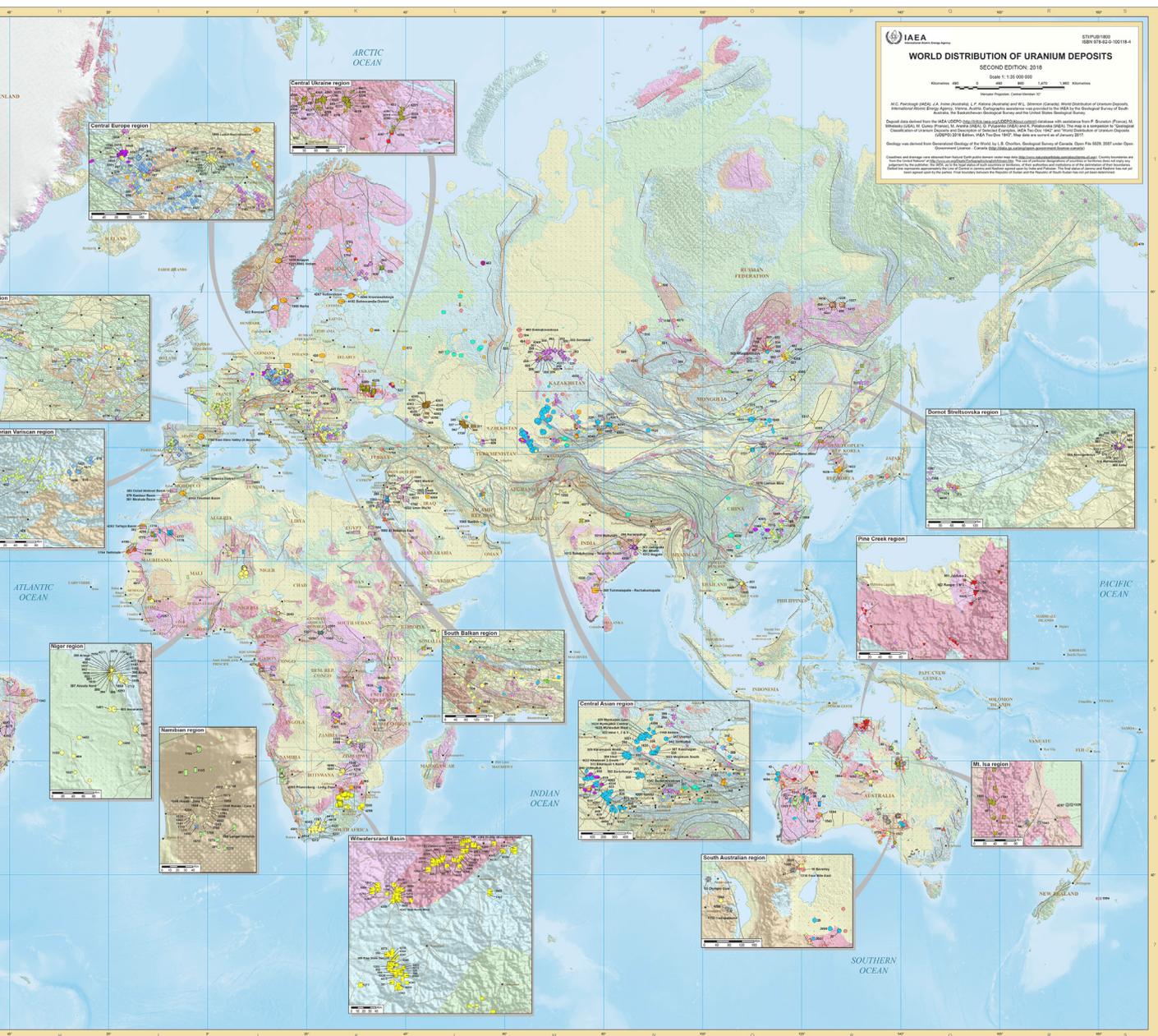
volcano-sédimentaire, et plus elle est grande, plus le gisement est important.

Les fonctionnalités spéciales de la carte permettent aux utilisateurs d'organiser et de personnaliser toutes ces données. Ceux-ci peuvent dévoiler ou masquer les couches en les faisant apparaître ou disparaître. Par exemple, ils peuvent choisir d'afficher un seul type de gisements d'uranium en dissimulant les 14 autres et imprimer ensuite une version de la carte indiquant les données précises qu'ils recherchent. L'avantage réside dans le fait qu'un seul produit, la carte, réunit une quantité considérable d'informations classées d'une manière structurée qui permet aux utilisateurs de produire rapidement un document contenant exactement ce dont ils ont besoin.

Une autre fonctionnalité unique de cette carte est la possibilité qu'elle offre aux utilisateurs d'effectuer des recherches sur chaque gisement par un simple clic sur un gisement donné pour faire apparaître au format texte des informations relatives à celui-ci. La carte contient également un arrière-plan de relief ombré qui recrée la topographie et montre les liens entre la géologie et les gisements.

La carte (en anglais) est accessible à l'adresse suivante :

<https://www-pub.iaea.org/books/IAEABooks/12314/World-Distribution-of-Uranium-Deposits-Second-Edition>



Carte générale de la répartition des gisements d'uranium dans le monde, deuxième édition, 2018.

(Photo : AIEA)

L'application des garanties de l'AIEA dans les mines d'uranium donne un tableau plus complet des activités nucléaires d'un pays

Par Matt Fisher



Des inspecteurs des garanties de l'AIEA visitent une mine d'uranium.

(Photo : D. Calma/AIEA)

Les garanties de l'AIEA jouent un rôle essentiel dans la prévention de la dissémination des armes nucléaires en permettant de veiller à ce que les matières nucléaires restent utilisées à des fins pacifiques. Les installations d'extraction et de préparation du minerai d'uranium, qui manipulent de grandes quantités de cette matière, font l'objet d'une vérification par l'AIEA dans les États ayant signé des protocoles additionnels à leurs accords de garanties généralisées.

« La vérification effectuée dans les mines d'uranium s'inscrit dans le cadre d'une analyse de cohérence », explique Russell Leslie, spécialiste des garanties à l'AIEA. « Les informations obtenues lorsque les inspecteurs de l'AIEA ont accès aux installations d'extraction et de préparation du minerai d'uranium sont vérifiées par rapport à celles qui ont été communiquées par l'État dans ses déclarations et comparées à toutes les autres informations pertinentes pour les garanties dont dispose l'AIEA, y compris celles recueillies lors d'activités d'inspection dans cet État, afin de s'assurer que ce dernier se conforme à ses obligations au titre des garanties. »

En concluant un accord de garanties, les États acceptent ces garanties. Les inspecteurs des garanties ne procèdent à des vérifications dans les mines d'uranium que dans les pays qui ont mis en vigueur un protocole additionnel à leur accord de garanties généralisées. Ce protocole additionnel renforce les capacités de vérification de l'AIEA en introduisant des mesures supplémentaires – telles que la communication

d'informations accrues au sujet des activités de l'État en lien avec le cycle du combustible nucléaire et l'accès physique aux emplacements pertinents dans cet État – pour améliorer l'efficacité et l'efficience des garanties. Des protocoles additionnels sont aujourd'hui en vigueur dans 132 États, au nombre desquels figurent tous les pays possédant des mines d'uranium en exploitation.

Ces pays sont tenus de fournir à l'AIEA des informations supplémentaires sur leurs activités liées au cycle du combustible nucléaire et d'autoriser l'accès aux emplacements pertinents, notamment aux mines d'uranium et aux usines de concentration d'uranium et de thorium, ce qui permet à l'AIEA de mieux s'assurer du caractère pacifique du programme nucléaire du pays.

Dans le cadre du protocole additionnel, les inspecteurs recueillent des informations sur l'emplacement et sur l'état opérationnel des installations d'extraction et de préparation du minerai d'uranium, et effectuent une estimation de la capacité de production totale annuelle des usines de concentration d'uranium. Pour vérifier l'exactitude de ces informations, l'AIEA peut exercer son droit dit d'« accès complémentaire » à certaines installations d'extraction et de préparation, en vue d'établir avec une plus grande certitude qu'elles n'abritent pas de matières ou d'activités nucléaires non déclarées.

« L'accès complémentaire doit permettre d'établir des estimations raisonnables de l'ampleur de la production », explique M. Leslie.

En Australie, qui est un des plus grands producteurs d'uranium au monde, l'AIEA exerce une fois par an en moyenne son droit d'accès complémentaire à une mine d'uranium en activité. Pendant la visite d'installations d'extraction et de préparation de minerai d'uranium au titre du droit d'accès complémentaire, les inspecteurs de l'AIEA sont accompagnés d'inspecteurs nationaux du Bureau australien des garanties et de la non-prolifération. Préalablement à l'inspection, les inspecteurs de l'AIEA reçoivent des informations sur l'état de la mine.

Pendant la visite d'installations d'extraction et de préparation de minerai d'uranium, ils peuvent procéder à des observations visuelles, prélever des échantillons, effectuer des mesures non destructives et examiner les relevés de production et d'expédition de l'uranium. L'AIEA peut entreprendre ces activités en adressant un préavis aux autorités du pays 24 heures seulement à l'avance.

L'observation visuelle comprend un examen de la mine et de l'infrastructure de l'installation. L'échantillonnage consiste à prélever de petites quantités de minerai et de concentré d'uranium traité en vue d'une analyse ultérieure, ainsi que des échantillons de l'environnement obtenus par frottis à l'aide d'un coton passé sur diverses surfaces dans la mine puis placés dans des récipients scellés aux fins d'une vérification en laboratoire.

« L'analyse du concentré de minerai fournit des informations plus utiles que celle du minerai à l'état brut, la pureté de ce dernier pouvant grandement varier selon la partie de la mine de laquelle il provient », explique M. Leslie. Le concentré de minerai nous fournit des données cruciales qui sont déterminantes pour l'analyse de cohérence et nous permettent d'avoir une meilleure idée des activités nucléaires du pays dans leur ensemble, ajoute-t-il.

L'analyse non destructive est une technique qui permet d'analyser la « signature » radioactive de matières nucléaires à l'aide d'instruments tels que des détecteurs gamma. Grâce à cette technique, les inspecteurs sont en mesure de confirmer sur site la nature particulière des matières nucléaires de la mine.

L'examen des relevés, avec la collaboration du personnel de la mine, consiste entre autres à passer en revue les activités d'extraction menées dans le passé ainsi que des informations sur les opérations en cours. Parfois, il est aussi fait appel à l'imagerie satellitaire dans le cadre du processus de vérification, ajoute M. Leslie.

En plus de confirmer avec davantage de certitude l'absence de matières et d'activités nucléaires non déclarées, l'accès complémentaire aux mines d'uranium permet de s'assurer de l'état des mines devant être déclassées ou de vérifier si une mine est encore ouverte et en exploitation.

Des inspecteurs des garanties visitent une installation d'entreposage d'uranium.

(Photo : D. Calma/AIEA)





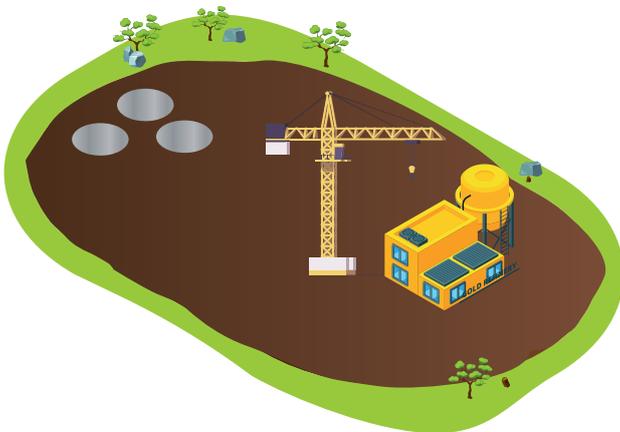
PROSPECTION

10 à 15 ans



FAISABILITÉ

1 à 3 ans



AMÉNAGEMENT DE LA MINE

1 à 3 ans

EXTRACTION D'URANIUM

[Infographie : R. Kenn (AIEA)]



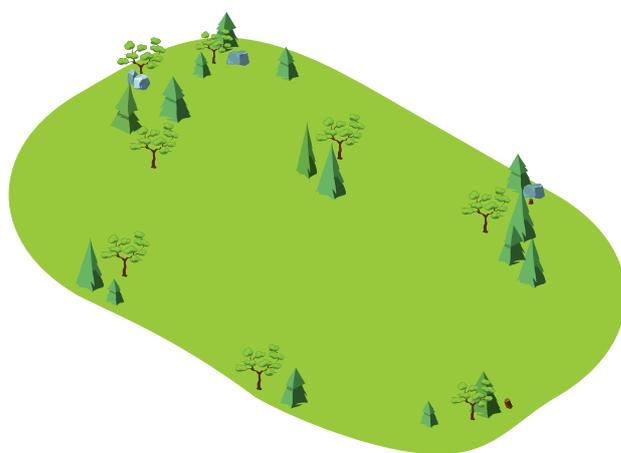
EXTRACTION ET TRAITEMENT

5 à 50 ans



RÉHABILITATION/REMÉDIATION

2 à 10 ans (+ surveillance ultérieure)



Garantir la sûreté et la sécurité d'une ressource naturelle vitale pour la filière nucléaire lors de son transport

Par Nicole Jawerth

Les chargements d'uranium sont comparables à des voyageurs VIP. Ils empruntent des voies terrestres, maritimes ou aériennes et font des escales comme n'importe quel autre voyageur, mais du fait de leur influence à l'échelle mondiale et des convoitises criminelles qu'ils suscitent, leur voyage doit être planifié dans ses moindres détails afin que la sûreté et la sécurité soient garanties à chaque étape du transport.

« L'uranium, qui n'est produit que par quelques pays, est nécessaire pour fabriquer le combustible utilisé dans la plupart des centrales nucléaires de la planète, ce qui explique la valeur et l'intérêt stratégique mondial de cette matière première », explique Robert Floyd, Directeur général du Bureau australien des garanties et de la non prolifération. « L'uranium devant être transporté dans le monde entier, il est important de respecter des normes strictes au niveau international. »

Plus de 80 % de l'uranium utilisé dans le monde entier est produit par cinq pays seulement. Sur les 31 pays qui exploitent les 451 réacteurs nucléaires de puissance en activité, seuls quelques-uns produisent l'uranium qu'ils utilisent. Ce sont donc plus de 50 000 tonnes de concentré d'uranium qui doivent être expédiées normalement chaque année.

L'uranium est un élément radioactif présent à l'état naturel dans l'environnement. On appelle concentré d'uranium la matière concentrée à l'état de poudre après élimination des impuretés du minerai brut. (Pour de plus amples informations sur les méthodes de production du concentré d'uranium, voir la page 23.)

L'uranium est expédié en majeure partie sous forme de concentré parce qu'il est plus économique de le transporter ainsi qu'à l'état de minerai brut.

Bien que le concentré n'engendre qu'un faible risque radiologique, il doit être manipulé avec précaution. « Du point de vue de la sûreté, des mesures de protection radiologique élémentaires suffisent », selon Eric Reber, spécialiste de la sûreté du transport à l'AIEA.

Pour ce qui est de la sécurité, « les mesures de protection assurent que l'uranium ne tombe pas entre de mauvaises mains », explique David Ladsous, administrateur principal chargé de la sécurité nucléaire à l'AIEA. « Ces mesures sont particulièrement importantes compte tenu de la grande valeur économique et stratégique de l'uranium, qui l'expose à des risques de vol et de sabotage. »

L'AIEA collabore avec des autorités du monde entier à la formation du personnel et à l'élaboration de réglementations nationales de sûreté et de sécurité concernant le transport de

l'uranium. Les règlements nationaux de sûreté et de sécurité des matières radioactives doivent être conformes aux normes internationales et s'inscrire dans le cadre d'un régime mondial de sûreté et de sécurité, explique M. Reber. Ces activités conjointes couvrent tout le processus de transport, de la production et du conditionnement à la livraison, en passant par la planification des itinéraires de transit. Elles visent également à résoudre d'autres problèmes possibles, tels que celui de la piraterie.

« Bien que le transport du concentré d'uranium présente relativement moins de risques que d'autres parties du cycle du combustible nucléaire, il est vital de disposer de normes strictes de sûreté et de sécurité afin de renforcer la confiance des pays et de la communauté internationale dans l'ensemble de la filière nucléaire », ajoute M. Floyd.

Renforcer la confiance aux fins de la stabilité du secteur de l'uranium

La confiance repose en partie sur les règlements nationaux et les normes internationales, car cela signifie que tous les pays impliqués dans la chaîne logistique respectent les mêmes critères élevés de sûreté et de sécurité, explique M. Ladsous. Cela est particulièrement important pour les nouveaux producteurs d'uranium et ceux qui n'en produisent qu'en faibles quantités, ou pour des pays tels que le Malawi, qui cherchent à revenir sur le marché de l'uranium.

« Jusqu'à récemment, l'un de nos principaux soucis était que notre autorité compétente par intérim, à savoir le Département de l'environnement, puisse ne pas être reconnu par les autres pays comme ayant un mandat acceptable pour le transport de matières radioactives, notamment de concentré d'uranium, en sorte que certaines expéditions pourraient parfois être refusées », explique Burnett Msika, ingénieur des mines en chef au Département des mines, qui dépend du Ministère des ressources naturelles, de l'énergie et des mines du Malawi.

Après avoir dû provisoirement fermer sa seule mine en 2014 au bout de cinq ans d'exploitation, en raison de la chute des prix de l'uranium et de coûts d'exploitation trop élevés, le Malawi s'emploie activement à actualiser sa réglementation et à former du personnel avec l'aide de l'AIEA afin de préparer la reprise des opérations.

« C'est notamment dans ce but que nous avons mis en place notre autorité nationale de réglementation de l'énergie atomique, rattachée au Département de l'environnement, que nous nous employons à former et développer nos ressources humaines et

que nous cherchons à améliorer la collaboration avec les organismes de réglementation sur l'ensemble du processus de transport », explique M. Msika.

Pour des exportateurs plus expérimentés, comme l'Australie — qui est le troisième producteur d'uranium au monde et possède les plus importants gisements d'uranium de la planète — il importe avant tout de préserver leur réputation d'exportateurs fiables d'énergie.

L'Australie revoit et actualise constamment ses règlements et autorisations et assure la formation du personnel de manière à faire en sorte que les 8 000 tonnes qu'elle exporte annuellement arrivent à bon port, explique M. Floyd. Tous les États et territoires australiens appliquent des règlements et des codes supplémentaires en matière de transport. C'est l'ensemble de ces règlements et codes qui énoncent les prescriptions à respecter en matière de conditionnement, de moyens de transport, d'itinéraires ainsi que de sûreté et de sécurité pendant le transport du concentré d'uranium.

Dans un pays aussi vaste, il est particulièrement important que ces travaux soient coordonnés entre tous les États et au niveau fédéral. « L'Australie étant le sixième pays du monde en superficie, l'une des principales difficultés que nous avons réside dans les longues distances à couvrir, souvent à travers de vastes zones isolées. En cas d'incident, l'aide peut mettre beaucoup de temps à arriver. Il est donc important d'être bien préparé, de communiquer en continu et de bénéficier d'une certaine autonomie ainsi que des bons outils », explique M. Floyd.

Les autorités australiennes entendent continuer à travailler en étroite coopération avec l'AIEA en vue de renforcer encore le régime de transport du pays. Parmi les actions envisagées figurent l'établissement d'une liste récapitulative des ressources nationales disponibles en cas d'incident, l'amélioration des supports de formation et l'élaboration d'un modèle de guide concernant les plans de transport du concentré d'uranium, en vue d'avoir une meilleure idée des nouveaux projets miniers.



Un nouveau plan directeur stratégique pour la coordination de la remédiation des anciens sites de production d'uranium en Asie centrale

Par Mariam Arghamanyan

Un plan directeur stratégique publié en mai 2018 doit contribuer à accélérer les projets de remédiation des anciennes mines d'uranium d'Asie centrale. Avec le financement nécessaire, les sites prioritaires pourraient être réhabilités en seulement quelques années.

Ce nouveau plan, élaboré sous l'égide de l'AIEA en coopération avec des experts de la région et des organisations internationales, instaure un cadre pour la mise en œuvre rapide, coordonnée, économique et durable des activités de remédiation. Fondé sur des évaluations de l'impact environnemental et des études de faisabilité financées par l'Union européenne ainsi que sur des études réalisées par Rosatom, l'agence russe de l'énergie atomique, ce plan contient une liste de zones sensibles et de priorités de remédiation dans la région. Il comprend également des évaluations des risques et des estimations de coûts.

Les anciennes mines d'uranium sont situées dans la région de la vallée de Ferghana qui, avec 14 millions d'habitants, est l'une des zones les plus fertiles et densément peuplées d'Asie centrale. Le Syr-Daria qui la traverse est l'un des principaux fleuves de la région. Les projets prévus dans le plan directeur stratégique ont notamment pour objectifs de promouvoir la coopération régionale et de contribuer à renforcer la stabilité et la sécurité dans la région.

Le document répertorie sept anciens sites de production d'uranium devant faire prioritairement l'objet d'activités de remédiation au Kirghizistan, en Ouzbékistan et au Tadjikistan

Les sites de traitement du minerai d'uranium produisent des sous-produits sablonneux qui contiennent des métaux lourds et du radium. Cette image montre des résidus de l'ancien site de production d'uranium de Degmay, au Tadjikistan.

[Photo : M. Roberts (AIEA)]



(voir la carte). Il reste environ 130 millions d'euros à trouver pour que les projets de remédiation puissent être financés, en plus des 30 millions déjà récoltés. La Commission européenne prévoit d'organiser une conférence d'annonce de contributions de haut niveau fin 2018 afin de mobiliser des contributions au Fonds pour la remédiation environnementale en Asie centrale. Géré par la Banque européenne pour la reconstruction et le développement, ce fonds servira à financer les activités de remédiation devant être menées sur les sept sites.

Un petit nombre de projets de remédiation ont déjà été réalisés aux niveaux local et régional mais, étant donné le peu de ressources disponibles, leur objectif était de limiter la contamination plutôt que de l'éliminer entièrement. Sous la supervision de Rosatom, des activités de remédiation préliminaires ont été entreprises sur d'autres sites de la région.

« Destiné à jouer le rôle de feuille de route, le plan permettra d'exploiter au mieux les ressources limitées qui sont consacrées à la remédiation aux niveaux national, régional et international, en alignant les activités sur des objectifs clairement énoncés et convenus », explique Michelle Roberts, spécialiste de la sûreté des déchets et responsable du programme à l'AIEA.

« Le plan sera régulièrement revu, réévalué et actualisé compte tenu de la progression des activités et des priorités du programme », ajoute-t-elle.

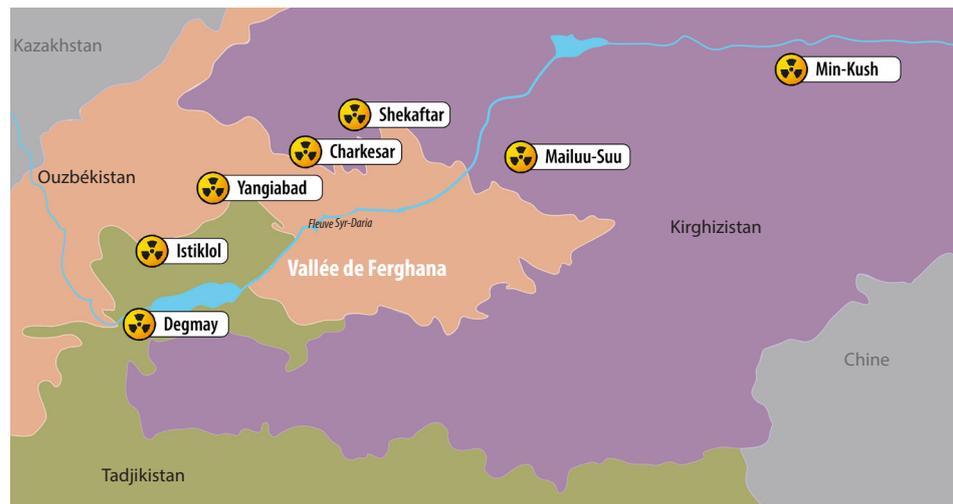
Les conséquences des activités d'extraction menées dans le passé

Les sites d'extraction d'uranium ont été établis au milieu des années 1940, à une époque où les dispositions réglementant la gestion de la fin de vie étaient rares. Les sites ont été exploités pendant plusieurs décennies avant d'être fermés dans les années 1990. Ces mines et leurs infrastructures de traitement de l'uranium sur place renferment toujours des résidus de contaminants chimiques radioactifs et hautement toxiques.

Les niveaux de dose gamma moyens sur ces sites sont compris entre 0,30 et 4,0 microsieverts par heure, ce qui équivaut à une exposition d'une durée de 30 minutes à quatre heures au rayonnement de fond naturel global moyen. Cependant, plusieurs facteurs peuvent donner lieu à une accumulation ou à une propagation de la contamination.

« Les sites étant situés dans une zone sujette à des séismes, des glissements de terrain et des inondations, il restera un risque que des matières contaminées soient rejetées dans les cours d'eau tant qu'on n'aura pas mené à bien la remédiation », explique Baigabyt Tolongutov, Directeur du Centre de réglementation nationale de la protection environnementale et de la sécurité écologique du Kirghizistan.

Des rejets de cette ampleur peuvent nécessiter la mise en place de restrictions sur l'utilisation de l'eau pendant de longues durées et provoquer d'importantes pénuries d'eau ayant des incidences sur la santé de la population et sur l'économie, ajoute-t-il. Ils peuvent également être dommageables pour la stabilité et la sécurité de la région, en particulier si des matières radioactives ou toxiques se propagent au-delà des frontières.



Anciens sites d'extraction d'uranium devant faire l'objet d'une remédiation dans le cadre du plan directeur stratégique.

(Source : plan directeur stratégique)

La résolution de l'Organisation des Nations Unies

L'Assemblée générale des Nations Unies a reconnu en 2013 qu'il était nécessaire de suivre une approche coordonnée de la remédiation en adoptant une résolution mettant en avant la responsabilité de la communauté internationale dans la prévention des risques radiologiques en Asie centrale. La remédiation des conséquences des activités d'extraction d'uranium menées dans le passé représente également un volet important des objectifs de développement durable de l'Organisation des Nations Unies, explique M. Tolongutov. « Le programme de remédiation contribuera au développement socio-économique à long terme en donnant lieu à un renforcement des compétences et en créant des emplois. »

Le plan a été élaboré par le Groupe de coordination pour les anciens sites de production d'uranium du Secrétariat de l'AIEA, qui est co-financé par l'Union européenne.



Concentré d'uranium sortant d'un filtre-presse.

(Photo : Orano)



Lixiviation de l'uranium

Comment obtient-on du concentré d'uranium ?

Lors de l'extraction, la teneur en uranium du minerai ou de la roche est tout juste de 0,1 %. Pour extraire l'uranium, le minerai est habituellement tiré du sol puis broyé, avant d'être plongé dans de l'eau de manière à obtenir une boue dont la consistance est similaire à celle du sable de plage, ou même du talc mélangé à de l'eau. Cette boue est généralement mélangée à de l'acide sulfurique en vue de dissoudre l'uranium tout en préservant les particules de roche et autres minerais restants qu'on appelle des résidus.

La lixiviation in situ est une autre méthode d'extraction, elle consiste à extraire l'uranium directement du minerai sans trop entrer en contact avec le sol. Près de la moitié de l'uranium mondial est produit grâce à cette méthode. Le processus est le suivant : de l'acide ou de l'alcali, ainsi qu'un agent oxydant, sont ajoutés aux eaux souterraines puis injectés dans le minerai dans lequel ils circulent de manière à dissoudre l'uranium. La solution contenant l'uranium dissous est ensuite pompée à la surface pour être traitée plus avant.

Ces deux méthodes d'extraction produisent une solution liquide contenant de l'uranium dissous. Lorsque cela est nécessaire, les résidus restants sont éliminés à l'aide d'un filtre. L'uranium est ensuite précipité de la solution liquide, filtré et séché pour produire un concentré d'oxyde d'uranium, avant d'être scellé dans des fûts. Ce concentré poudreux peut avoir une couleur jaune vif (d'où l'appellation de yellow cake) ou encore vert foncé, lorsqu'il est séché à des températures élevées.

Une fois que le concentré d'uranium est traité plus avant et enrichi, comme c'est le plus souvent le cas, il peut être transformé en combustible nucléaire. Le concentré d'uranium est produit dans tous les pays qui exploitent l'uranium. Il n'est que légèrement radioactif.

— Par Laura Gil

L'uranium, future source d'énergie durable ?

Par Noah Mayhew



Le concentré d'uranium est stocké dans des fûts en acier spécialement conçus, hermétiquement fermés, de la taille de barils de pétrole. Plein, chacun de ces fûts ne pèse pas plus de 350 kilogrammes.

(Photo : D. Calma/AIEA)

D'après l'Agence internationale de l'énergie, la hausse de la consommation mondiale d'énergie pourrait atteindre 18 % d'ici à 2030 et 39 % d'ici à 2050. Celle-ci entraînera une augmentation de la demande des diverses sources d'énergie, dont l'électronucléaire, et donc d'uranium.

« Alors que de nouveaux réacteurs de puissance entrent en service et que d'autres sont mis à l'arrêt, la fourniture et la gestion adéquates de l'uranium seront des facteurs déterminants de l'approvisionnement énergétique dans les prochaines décennies », explique Adrienne Hanly, spécialiste des ressources d'uranium à l'AIEA. « Le combustible à base d'uranium devrait normalement rester une source fondamentale et fiable d'énergie d'origine nucléaire à faible émission de carbone. La manière d'utiliser ce combustible dépendra grandement de l'élaboration de technologies et de stratégies nouvelles de gestion durable des ressources. »

Même selon la prévision basse de l'AIEA relative à l'avenir de l'électronucléaire (la part du nucléaire dans le marché énergétique passerait de 11 % aujourd'hui à seulement 6 % en 2050), la capacité de production électronucléaire augmenterait de 24 %. Selon le scénario le plus optimiste, la production électronucléaire serait multipliée par 2,8 et la part de l'énergie nucléaire dans le marché énergétique mondial atteindrait 13,7 % en 2050.

En raison de la maturation de nouvelles technologies nucléaires, qui pour certaines nécessitent moins d'uranium ou utilisent les déchets nucléaires actuels comme combustibles, la hausse de

la production d'énergie nucléaire ne se traduira pas forcément par une hausse proportionnelle de la demande d'uranium extrait des mines. Toutefois, cette dernière devrait tout de même augmenter.

Comment l'industrie fera-t-elle face à cette hausse de la demande ? Si les ressources d'uranium exploitables grâce aux méthodes d'extraction actuelles sont suffisantes pour au moins un siècle, des travaux de recherche sont menés en vue de définir d'autres méthodes.

De l'uranium dans l'eau de mer

L'une de ces méthodes consiste à extraire l'uranium de l'eau de mer, qui contient plus de quatre milliards de tonnes d'uranium dissous, soit bien plus que le volume des ressources raisonnablement assurées par les activités d'extraction terrestre. L'extraction à partir de l'eau de mer devrait en outre compléter l'offre mondiale d'uranium de manière plus écologique et durable.

Théoriquement, il est plus simple d'extraire des quantités exploitables d'uranium de l'eau de mer que de minerais. L'uranium présent dans l'eau de mer est issu de réactions chimiques stables qui interviennent entre l'eau et les roches renfermant de l'uranium. Lorsque l'uranium est prélevé de l'eau de mer, la même quantité est ensuite lessivée des roches pour le remplacer. Si ces recherches aboutissent, les ressources d'uranium seraient donc quasiment illimitées.

Les méthodes en cours d'élaboration pour extraire l'uranium de l'eau de mer font appel à des fibres de polyéthylène (plastique courant) imprégnées d'amidoxime, substance qui attire le dioxyde d'uranium et le lie aux fibres. Un mètre cube d'eau contient environ trois milligrammes d'uranium, l'équivalent d'environ un grain de sel par litre. Après avoir été immergées pendant environ un mois, les fibres sont retirées et traitées à l'aide d'un acide qui permet de récupérer l'uranium et de réutiliser les fibres.

Bien que cette méthode soit à l'étude depuis des décennies, sa commercialisation ne s'avère pas encore rentable en raison du faible coût de l'uranium et de l'abondance des ressources extraites des mines traditionnelles. Au cours des cinq dernières années, le coût de l'extraction de l'uranium de l'eau de mer a été divisé par quatre, chutant à 440 \$ É.-U. par kilogramme. Il doit néanmoins continuer de baisser de manière significative pour que cette méthode puisse être utilisée à l'échelle industrielle.

Une utilisation plus efficace de l'uranium

L'utilisation et la gestion efficaces de l'uranium sont tout aussi importantes que la récupération durable de cette ressource. Le recours à de petits réacteurs modulaires (PRM) suscite un intérêt croissant dans le monde entier, car il permet une production d'électricité modulable, adaptée à une large gamme d'utilisations et d'applications. Les PRM ont notamment pour avantage, selon la technologie utilisée, de nécessiter moins d'uranium pour une production identique.

L'implantation de PRM à grande échelle pourrait fortement modifier la demande et la prévisibilité du marché. Aujourd'hui, l'industrie fait face à une demande constante de grands réacteurs, qui n'ont pas les mêmes besoins d'approvisionnement que les petits réacteurs.

En plus d'étudier des technologies nouvelles visant à récupérer plus d'uranium, l'industrie électronucléaire devra se pencher sur les pratiques de gestion des ressources afin d'en assurer la pérennité, ajoute Adrienne Hanly. Au cours des dernières années, l'AIEA a collaboré avec la Commission économique des Nations Unies pour l'Europe (CEE-ONU) en vue de résoudre des problèmes de gestion des ressources, notamment en matière de viabilité socioéconomique, de faisabilité technologique et de confiance dans les estimations.

« L'uranium doit être considéré comme un combustible à faible émission de carbone qui peut aider à atteindre un grand nombre des objectifs de développement durable de l'ONU et d'engagements sur le climat », dit Harikrishnan Tulsidas, économiste à la CEE-ONU. « Les technologies nouvelles contribueront de manière cruciale à rendre la production d'uranium durable. »

Il y a plus d'uranium dans l'eau de mer que dans l'ensemble des gisements terrestres, mais son extraction n'est pas rentable à l'heure actuelle.



Découvrez Oklo, le seul réacteur nucléaire naturel connu au monde vieux de deux milliards d'années

Par Laura Gil



Échantillons provenant d'Oklo offerts au Muséum d'histoire naturelle de Vienne.

(Photo : Ludovic Ferrière/Muséum d'histoire naturelle)

Assis dans une usine de traitement du combustible nucléaire du Sud de la France, le physicien Francis Perrin se dit à lui-même : « C'est impossible ». Cela se passait en 1972. D'un côté, un morceau de minerai d'uranium radioactif naturel de couleur sombre, extrait d'une mine en Afrique, de l'autre, des données scientifiques validées indiquant que la teneur des minerais en uranium radioactif est constante.

L'analyse de ce minerai à haute teneur provenant d'une mine du Gabon a montré qu'il contenait une plus faible proportion d'uranium 235 (^{235}U), le seul de type fissile. Cette différence, bien qu'infime, était suffisante pour rendre les chercheurs perplexes.

La première explication logique avancée par les physiciens pour justifier une teneur aussi inhabituelle en uranium 235 était qu'il ne s'agissait pas d'uranium naturel. De nos jours, celui-ci contient toujours 0,720 % d'uranium 235, qu'il provienne de la croûte terrestre, de roches lunaires ou de météorites. Mais ce morceau de roche d'Oklo ne contenait que 0,717 % d'uranium 235.

Comment expliquer cela ? La seule explication initialement trouvée par les physiciens était que le minerai d'uranium avait subi une fission artificielle, c'est-à-dire qu'on avait provoqué une scission forcée de certains atomes d'uranium 235 par une réaction nucléaire en chaîne. Cela pouvait expliquer la teneur anormalement faible en uranium.

Cependant, des analyses complémentaires ont permis à Francis Perrin et à ses collègues d'attester que le minerai d'uranium était totalement naturel. Fait encore plus curieux, ils ont découvert des traces de produits de fission dans ce minerai. Ils en ont conclu que le minerai d'uranium était naturel et avait subi une fission. La seule explication possible était que cette roche témoignait d'une fission naturelle qui avait eu lieu il y a plus de deux milliards d'années.

« À l'issue d'études supplémentaires et notamment d'analyses effectuées sur place, les chercheurs ont découvert que la fission du minerai d'uranium avait été auto-entretenu », raconte Ludovic Ferrière, conservateur de la collection de roches au Muséum d'histoire naturelle de Vienne, où un morceau de cette roche singulière sera présenté au public en 2019. « Il n'y avait aucune autre explication possible », poursuit-il.

Pour qu'un tel phénomène ait pu se produire naturellement, il a fallu que ces gisements d'uranium d'Afrique équatoriale occidentale contiennent une masse critique d'uranium 235 pour que la réaction soit amorcée. C'était effectivement le cas à l'époque.

Un autre facteur ayant favorisé ce phénomène est que le déclenchement et le maintien de toute réaction nucléaire en chaîne nécessite un modérateur. Dans ce cas, c'était l'eau. Si celle-ci n'avait pas ralenti les neutrons, la fission contrôlée n'aurait pas été possible. Les noyaux atomiques ne se seraient tout simplement pas scindés.

« Tout comme les réacteurs nucléaires à eau légère artificiels, les réactions de fission s'arrêtent inévitablement en l'absence d'un élément qui ralentit, ou modère, les neutrons », explique Peter Woods, chef d'équipe chargé de la production d'uranium à l'AIEA. « L'eau a joué le rôle de modérateur à Oklo, en absorbant les neutrons et en contrôlant la réaction en chaîne ».

Le contexte géologique spécifique de ce qui est aujourd'hui le Gabon a également aidé. Les concentrations chimiques totales en uranium (notamment en ^{235}U) étaient suffisamment élevées et les divers gisements individuels d'une épaisseur et d'une grandeur suffisantes. Dernier facteur favorable : la région d'Oklo a réussi à résister à l'épreuve du temps. Les experts pensent qu'il y a peut-être eu d'autres réacteurs naturels similaires dans le monde, mais qu'ils ont probablement été détruits par des processus géologiques, dégradés par l'érosion, en subduction ou n'ont tout simplement pas encore été découverts.

« Le plus fascinant dans cette histoire, c'est la manière dont le temps, la géologie et l'eau se sont alliés pour permettre à ce phénomène de se produire et d'être préservé jusqu'à nos jours », commente Peter Woods, qui précise que l'énigme est résolue.

Un échantillon de la roche est dans la ville qui abrite le siège de l'AIEA

Des échantillons de roches d'Oklo, dont certains ont été prélevés lors de campagnes de forage, sont entreposés au siège d'Orano, entreprise française spécialisée dans l'électronucléaire et les énergies renouvelables. Au début de l'année 2018, le Muséum d'histoire naturelle de Vienne a reçu en donation deux échantillons de carottes de forage scindés en deux. Cette donation a été rendue possible par les contributions financières d'Orano et du Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA), et le soutien de la mission permanente de la France auprès de l'Organisation des Nations Unies et des organisations internationales sises à Vienne. Lorsque les échantillons sont arrivés à Vienne, les scientifiques de l'AIEA ont apporté leur aide en surveillant les niveaux de radioactivité des morceaux de roche et en facilitant leur manipulation sûre.

Les deux échantillons émettent un rayonnement d'environ 40 microsieverts par heure à cinq centimètres, ce qui correspond à peu près à la quantité de rayons cosmiques reçus par le passager d'un vol de huit heures de Vienne à New York. Le muséum, qui accueille 750 000 visiteurs par an, est habitué à gérer des échantillons radioactifs, car sa collection contient déjà un certain nombre de roches et de minéraux légèrement radioactifs.

« Nous voulons que les gens en sachent plus sur la radioactivité naturelle et qu'ils prennent conscience du fait que la radioactivité est un phénomène omniprésent dans la nature qui ne présente aucun danger à de faibles niveaux. Elle est présente dans les sols et les murs de nos maisons, dans la nourriture que nous consommons, dans l'air que nous respirons et même dans nos corps », explique Ludovic Ferrière. « Quel meilleur moyen



Ludovic Ferrière, conservateur de la collection de roches, est en charge du réacteur d'Oklo au Muséum d'histoire naturelle de Vienne. Un échantillon d'Oklo fera partie de l'exposition permanente du muséum à partir de 2019.

(Photo : L. Gil/AIEA)

d'expliquer cela que d'exposer un échantillon authentique d'Oklo, où une fission nucléaire s'est produite naturellement il y a des milliards d'années ? ».

L'exposition permanente présentera différentes sources de radioactivité du rayonnement de fond. Une carte de la répartition de la radioactivité dans le monde, un détecteur de rayonnements, un compteur Geiger-Müller ou encore une chambre à brouillard permettront peut-être aux visiteurs de voir par eux-mêmes l'exposition aux rayonnements naturels.

« Les roches sont comme des livres. La couverture donne des informations de base, mais c'est à l'intérieur que se trouve l'histoire complète », déclare Ludovic Ferrière.

Point de vue d'un initié sur la production d'uranium : état, perspectives et défis

Par Alexander Boytsov



Alexander Boytsov est conseiller du Vice-Président du groupe Uranium One à Moscou. Il possède une expérience de 40 ans en matière de prospection de gisements, d'estimation des ressources, d'extraction et de traitement de l'uranium. Depuis 1994, il représente la Fédération de Russie auprès du Groupe mixte AIEA-Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) de l'uranium et a été coprésident du Rapport 2011 sur le marché du combustible nucléaire de l'Association nucléaire mondiale.

M. Boytsov est auteur et co-auteur de plus de 100 publications russes et internationales, notamment d'une monographie sur la géologie, l'extraction et l'économie de l'uranium publiée en 2012.

Deux rapports publiés récemment prévoient une offre excédentaire d'uranium qui durera au moins jusqu'en 2023. Le rapport 2018 sur les perspectives du marché de l'uranium du cabinet d'études Ux Consulting, ainsi que le rapport 2017 sur le combustible nucléaire de l'Association nucléaire mondiale présentent des prévisions relatives à l'offre et à la demande concernant le cycle du combustible nucléaire, respectivement jusqu'en 2030 et jusqu'en 2035.

Au cours de ces deux périodes, environ 10 % des besoins mondiaux seront satisfaits par des sources secondaires. Celles-ci incluront notamment des stocks civils détenus par des énergéticiens ou des États, de l'uranium ou du plutonium recyclés, ou encore de l'uranium appauvri réenrichi. Ces sources représenteront toutefois une proportion de moins en moins importante de l'offre globale d'uranium, et les sources primaires resteront dominantes à long terme.

La production d'uranium des mines actuelles baissera de 30 % d'ici 2035 en raison d'un épuisement des ressources et des fermetures de mines. Les nouvelles mines pourront seulement compenser la capacité de production des mines épuisées. Les deux rapports indiquent qu'entre 2023 et 2026, la demande d'uranium pourrait être supérieure à l'offre. Pour remédier à cet écart et produire les 30 000 tonnes supplémentaires nécessaires annuellement jusqu'en 2035, les nouvelles mines potentielles devraient commencer leur production dans les dix prochaines années. Mais le problème est que, d'après les plans des entreprises, l'aménagement de ces futures mines n'a pas été confirmé. Sachant cela, on peut se demander si les ressources globales en uranium et les capacités d'extraction minière disponibles suffiront à répondre aux besoins à long terme des centrales nucléaires.

Malgré un marché atone, la production d'uranium a continué d'augmenter de manière constante au cours des dix dernières années, jusqu'à atteindre

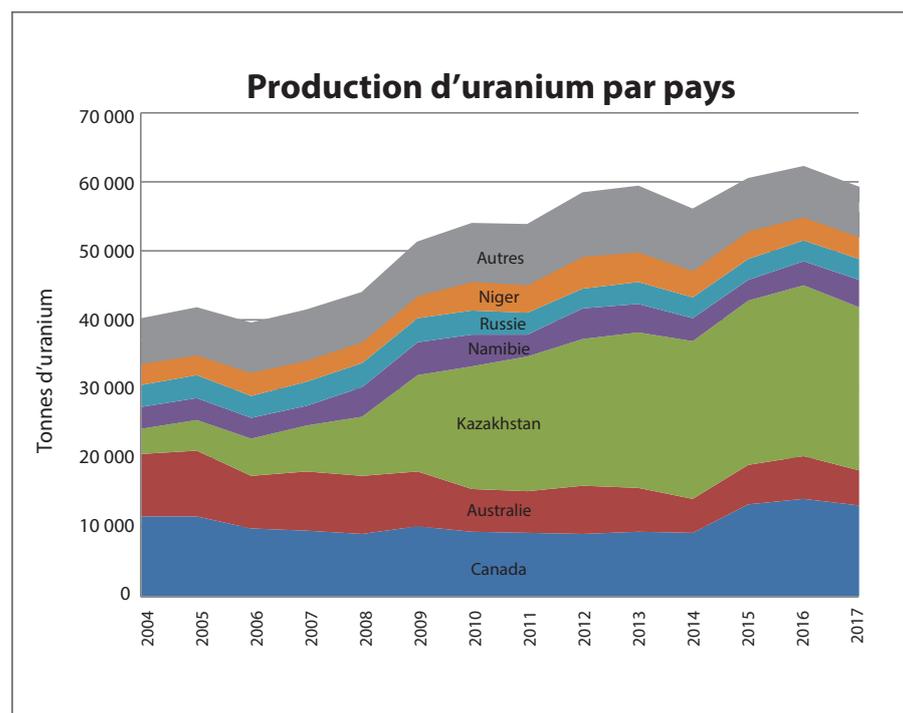


Figure 1. Production d'uranium par pays

Source : données compilées par l'auteur, basées sur des rapports publics des producteurs d'uranium.

62 000 tonnes en 2016, record historique qui n'avait pas été atteint depuis 1983. (La production en 2017 était de 59 000 tonnes.) Cette augmentation a été due principalement à l'essor de la production au Kazakhstan, qui a multiplié par six sa production d'uranium au cours des dix dernières années et a été le premier producteur mondial depuis 2009 (voir figure 1).

La lixiviation in situ est la méthode d'extraction d'uranium la plus courante de nos jours. Elle représentait 20 % de la production mondiale d'uranium en 2005 et 50 % en 2016 et en 2017. Cependant, le cabinet d'études Ux Consulting prévoit que les capacités d'extraction de cette méthode commenceront à baisser après 2028 en raison de l'épuisement des ressources, ce qui entraînera une nette réduction de la production des mines de lixiviation in situ à bas coûts à partir de 2022. Les entreprises de production d'uranium devront peut-être faire face à des difficultés économiques et techniques lors de l'élaboration de nouveaux projets d'extraction par lixiviation in situ à cause de l'augmentation du prix des ressources et de la disponibilité limitée de celles-ci.

D'après Ux Consulting, seulement 40 % des 43 mines actuellement en exploitation produisent de l'uranium à des prix inférieurs aux prix au comptant. Or, seules les entreprises produisant à bas coûts ou au titre de contrats de longue durée favorables sont susceptibles de survivre dans le difficile marché actuel de l'uranium.

En plus des prix bas de l'uranium, les entreprises doivent également faire face à des contraintes liées à des facteurs politiques, sociaux et environnementaux. Celles-ci ont entravé le lancement de plusieurs projets liés à l'uranium en Australie, au Canada, au Kazakhstan, en Russie et dans plusieurs pays africains. Cela pourrait entraîner une baisse d'au moins 10 % de la production d'uranium en 2018.

Même si le Kazakhstan est aujourd'hui le premier producteur mondial d'uranium, il peut néanmoins être confronté à ces difficultés à l'avenir. Le pays prévoit de maintenir les capacités actuelles d'extraction d'uranium à 25 000 tonnes par an durant les cinq prochaines années, mais cette production pourrait baisser de 40 % d'ici 2030 et de 70 % d'ici 2035 en raison de l'épuisement des ressources et de la fermeture de mines anciennes.

Des réserves d'uranium suffisantes, mais à quel prix ?

Pour assurer une production durable à long terme, il est essentiel d'avoir des réserves d'uranium fiables et peu chères. De manière générale, les réserves globales d'uranium sont plus que suffisantes pour répondre aux besoins de l'industrie nucléaire à long terme. Cependant, l'exploitation d'une grande partie d'entre elles est coûteuse. Après 2020, les producteurs d'uranium pourraient faire face à une pénurie des réserves bon marché. Au cours de la dernière décennie, le volume global des ressources d'uranium connues a augmenté de 21 %, tandis que celui des ressources d'uranium à bas coûts à moins de 80 dollars le kilogramme a diminué de 48 % (voir figure 2).

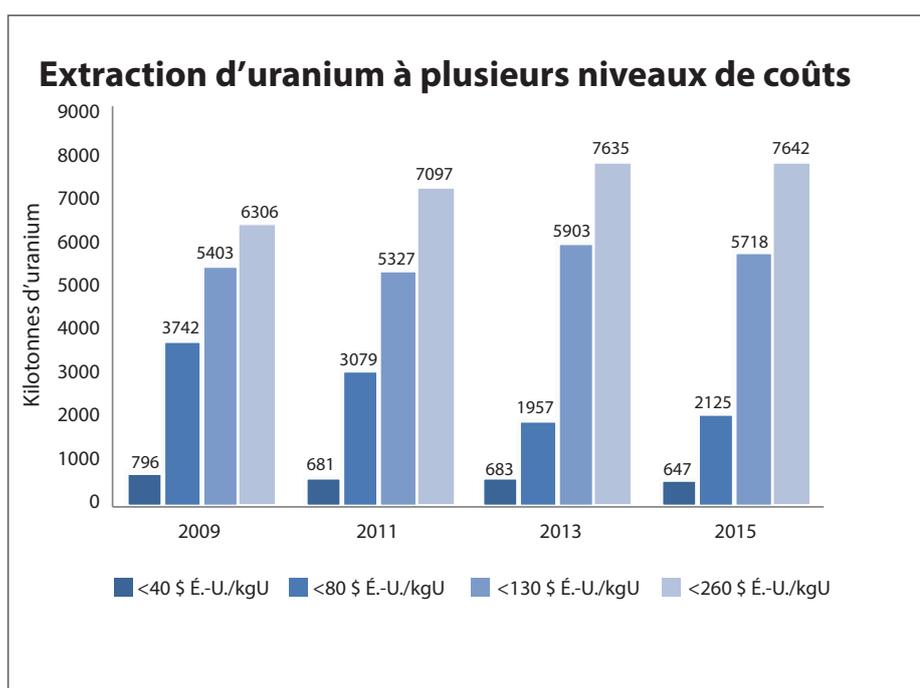


Figure 2. Évolution des ressources d'uranium.

Source : Uranium 2016 : Resources, Production and Demand, a Joint Report by the Nuclear Energy Agency and the IAEA.

L'AIEA renforce encore les capacités de lutte contre les cancers pédiatriques

Un nouveau partenariat permettra à l'AIEA de mieux aider les pays à revenu faible et intermédiaire à accroître l'accès à la détection précoce et au traitement des cancers pédiatriques. Conformément à l'accord de coopération qu'elle a signé au début du mois de juin 2018 avec l'organisme Childhood Cancer International (CCI), l'AIEA collaborera avec celui-ci en vue de proposer des formations spécialisées aux professionnels de santé travaillant en pédiatrie, de sensibiliser davantage à la question du cancer pédiatrique et de mobiliser des ressources pour aider les enfants atteints de cancer dans ses États Membres.

Le CCI, qui regroupe 188 organisations représentant les parents d'enfants souffrant de cancer et les jeunes qui ont survécu à cette maladie dans 93 pays, œuvre à promouvoir les meilleures pratiques, à élaborer des méthodes de traitement efficaces et innovantes et à proposer des solutions rentables afin de réduire la mortalité due au cancer. Il exécute des projets dans plusieurs pays, comme l'Éthiopie, le Ghana et le Myanmar, pour répondre aux besoins de soins de santé des enfants qui reçoivent un traitement, former des boursiers dans le domaine de l'oncologie pédiatrique, construire des installations

qui seront gérées de manière durable et créer des groupes de soutien pour les parents.

Plus de 300 000 cas de cancer sont diagnostiqués chaque année chez des enfants de moins de 14 ans et l'incidence augmente. Il ressort d'une étude CONCORD-2 publiée en 2015 dans la revue médicale *The Lancet* que le taux de survie des enfants dans les régions moins développées du monde peut descendre jusqu'à 30 %, contre plus de 80 % dans les pays à revenu élevé.

Élargir l'accès au traitement

« Cet accord établit une collaboration en matière de lutte contre le cancer pédiatrique qui permettra d'élargir l'accès aux services de radiothérapie pour les enfants atteints de cancer dans les pays en développement », déclare Dazhu Yang, Directeur général adjoint de l'AIEA chargé de la coopération technique. « Ce partenariat aidera davantage les États Membres à répondre aux demandes croissantes de services d'oncologie et de compétences spécialisées ».

L'AIEA collabore étroitement avec les États Membres en vue d'élaborer

et de mettre en œuvre des programmes qui intègrent la médecine radiologique à une approche pluridisciplinaire de lutte contre le cancer, de la prévention à la détection précoce et au traitement. Non seulement l'AIEA forme des professionnels de santé, mais elle contribue aussi à la mise en place de mesures de contrôle de la qualité et à la fourniture d'appareils de traitement de cancers pédiatriques grâce au transfert de technologies avancées, comme la protonthérapie. L'AIEA élabore également des lignes directrices pour la sûreté et la protection des patients, notamment des enfants, exposés aux rayonnements.

« Le CCI espère que, grâce à la participation de l'AIEA au diagnostic et au traitement du cancer dans le monde, le partenariat sera bénéfique aux jeunes patients et à leurs familles dans le monde entier », affirme Ruth Hoffman, présidente du CCI. « Notre objectif est que tous les enfants et adolescents atteints de cancer puissent recevoir les meilleurs soins possibles et avoir accès à des services de diagnostic », poursuit-elle. « Nous pouvons l'atteindre avec l'aide de l'AIEA ».

— Par James Howlett

Une application de jeux en ligne remporte le concours de l'AIEA pour les lycéens



L'équipe de lycéens malaisiens présente son projet gagnant lors du concours de l'AIEA destinés aux lycéens sur les approches innovantes pour la vulgarisation de la science et de la technologie nucléaires, le 31 mai 2018 à Gyeongju (Corée du Sud).

(Photo : AIEA)

Une équipe d'un établissement secondaire de Malaisie a remporté le concours international de l'AIEA pour les lycéens grâce à une application de jeux sur ordinateur visant à promouvoir la science nucléaire. Les gagnants ont été annoncés lors de la troisième Conférence internationale sur la mise en valeur des ressources humaines pour les programmes électronucléaires de l'AIEA, tenue à Gyeongju (Corée du Sud) en mai 2018.

L'équipe de l'établissement secondaire SMK Kuala Besut a appelé l'application « 100 faits intéressants sur la science nucléaire et la vie ». Une fois cet outil pédagogique lancé, au début de l'année 2018, les élèves ont constaté qu'après avoir testé l'application, les habitants et les touristes participants avaient radicalement changé d'avis sur l'industrie nucléaire.

« Avant ce projet, 93 % des participants se disaient hostiles à la science et à la technologie nucléaires », explique Safyyah binti Muhammad Nasir, l'un des trois membres de l'équipe gagnante malaisienne. « Mais après s'être familiarisés avec des éléments fondamentaux des applications nucléaires, 96 % d'entre eux ont une image positive aussi bien de l'énergie que de la science nucléaires ».

Ce concours destiné aux lycéens, qui s'est tenu en même temps qu'une conférence de quatre jours, avait pour objet de nourrir l'intérêt des élèves du secondaire pour la science et la technologie nucléaires, et était ouvert à des participants du monde entier. Il s'adressait à des élèves âgés de 14 à 18 ans et avait pour but d'encourager les discussions et la prise de conscience de l'impact actuel et futur de la science et de la technologie nucléaires.

Les cinq équipes finalistes, de Hongrie, du Japon, de Malaisie, de Corée du Sud et des États-Unis, qui ont conçu et mis au point les projets les plus innovants, ont gagné un voyage à Gyeongju pour présenter leurs projets lors de la conférence de l'AIEA.

Wan Mod Shatar, le professeur qui a supervisé l'équipe de l'établissement secondaire SMK Kuala Besut, souligne : « Il est important de rappeler que nos

élèves viennent d'un village de pêcheurs malaisien, où les connaissances sur la science nucléaire sont limitées. Dans le cadre de ce concours, ils ont dû non seulement interagir avec la communauté, mais aussi commencer à explorer un domaine scientifique nouveau ».

Les critères de la sélection initiale comprenaient la précision, l'esprit d'innovation, l'impact potentiel et l'égalité hommes-femmes.

« La première fois que nous avons entendu parler du concours international de l'AIEA pour les lycéens, nous savions que cela serait l'occasion idéale d'en savoir plus sur l'industrie nucléaire et de manifester notre enthousiasme pour un monde où l'énergie nucléaire serait sûre », déclare Andrew King, Principal-adjoint du lycée Alliance Dr. Olga Mohan High School, aux États-Unis, dont est issue l'une des équipes finalistes. L'équipe de ce lycée a constaté que l'image de l'énergie nucléaire chez les élèves était écornée par la peur des armes nucléaires et que l'industrie nucléaire devait renforcer la communication active auprès des élèves concernant les carrières offertes dans le secteur nucléaire.

À la fin de la conférence, Yves Bréchet, Haut-commissaire au Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies

alternatives, a souligné que tous les niveaux d'éducation, de l'école primaire aux programmes de doctorat, étaient essentiels pour l'avenir de l'énergie nucléaire. De fait, tous les problèmes auxquels est actuellement confrontée l'industrie nucléaire ont leur place dans les programmes de formation théorique et pratique :

- l'acceptation croissante de l'électronucléaire par le public passe par l'éducation du grand public et montre l'importance d'une formation scientifique pour tous ;
- la nécessité de renforcer l'efficacité et la sûreté doit mobiliser une nouvelle génération d'ingénieurs connaissant mieux les simulations informatiques et l'analyse de données ;
- le développement de l'innovation se fera grâce aux sciences de l'ingénierie, à des projets à long terme et à des chercheurs provenant de disciplines diverses.

La conférence a attiré plus de 520 participants et observateurs de 51 pays et cinq organisations.

—Par Shant Krikorian

L'AIEA lance un pôle de renforcement des capacités en matière d'énergie nucléaire

L'AIEA a lancé une nouvelle plateforme numérique centrée sur la planification de la main-d'œuvre, la direction, la formation, la participation des parties prenantes et la performance humaine, en vue d'aider les pays qui exploitent des centrales nucléaires, et ceux qui élaborent ou envisagent d'élaborer de nouveaux programmes électronucléaires. Le pôle de renforcement des capacités en matière d'énergie nucléaire permet aux utilisateurs inscrits d'adhérer à des communautés de pratiques dynamiques en vue de l'échange d'informations, du renforcement des capacités et du travail en réseau.

Des experts peuvent adhérer à des communautés de pratiques spécialisées sur chaque thème, donner leur avis sur des projets de publication de l'AIEA,

examiner des outils de formation en ligne de l'AIEA, se connecter à d'autres sites internet pertinents, parcourir des publications de l'AIEA et accéder à des documents de réunions précédentes.

« Le pôle offre un espace en ligne interactif unique pour les spécialistes travaillant dans le domaine nucléaire », déclare Lotta Halt, spécialiste de la formation à l'électronucléaire à l'AIEA. « Il servira de guichet unique d'information et de discussion de l'AIEA sur des sujets liés au renforcement des ressources humaines et à la participation des parties prenantes pour les programmes électronucléaires », poursuit-elle.

Ce pôle a été présenté lors de la troisième Conférence internationale sur la mise

en valeur des ressources humaines pour les programmes électronucléaires, tenue à Gyeongju (Corée du Sud) du 28 au 31 mai 2018.

Il a été mis en place à la requête d'États Membres qui ont demandé que soit modernisé le mode de communication des professionnels du nucléaire. Son objectif est de permettre une collaboration plus rapide et plus efficace.

Pour s'inscrire et participer, s'adresser à HRD.Contact-Point@iaea.org.

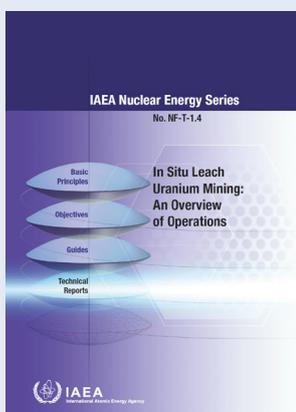
— Par Lisa Berthelot



Répartition mondiale des gisements d'uranium, deuxième édition

La publication intitulée *World Distribution of Uranium Deposits* est une carte numérique complète, interactive et intégrée de la répartition de l'uranium et de ses gisements dans le monde. La deuxième édition a été élaborée grâce aux contributions du Service géologique du Saskatchewan, du Service géologique de l'Australie-Méridionale et du Service géologique des États-Unis. La première édition, de 1995, recensait 582 gisements d'uranium dans le monde ; cette dernière édition en dénombre 2 831. Elle offre des outils interactifs avancés et est aussi disponible sur papier. (Voir notre article en page 12 pour des informations plus détaillées.)

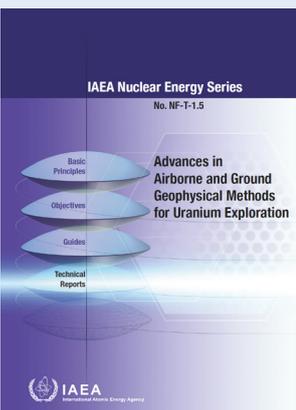
Publications hors-série ; ISBN : 978-92-0-100118-4 ; 20,00 euros ; 2018 (en anglais)
<https://www-pub.iaea.org/books/IAEABooks/12314/>
 World-Distribution-of-Uranium-Deposits



L'extraction d'uranium par lixiviation in situ : vue d'ensemble des opérations

La publication intitulée *In Situ Leach Uranium Mining : An Overview of Operations* contient un historique et présente l'expérience en matière d'extraction par lixiviation in situ dans le monde. Cette méthode est l'une des méthodes habituelles de production d'uranium. La publication peut aider à mettre en place des activités techniques en tenant compte de considérations environnementales et en mettant l'accent sur les aspects économiques du processus, notamment la fermeture responsable des mines. Elle contient des informations sur la manière de concevoir, d'exploiter et de réglementer des projets actuels et futurs de façon sûre et efficace, en vue de maximiser la performance et de réduire le plus possible l'impact sur l'environnement.

No NF-T-1.4 de la collection Énergie nucléaire de l'AIEA, ISBN : 978-92-0-102716-0 ; 30,00 euros ; 2016 (en anglais)
<https://www-pub.iaea.org/books/iaea-books/10974/Uranium-Mining>



Progrès concernant les méthodes géophysiques aéroportées et terrestres de prospection de l'uranium

La publication intitulée *Advances in Airborne and Ground Geophysical Methods for Uranium Exploration* présente les instruments géophysiques nouvellement conçus et leur application en matière de prospection de l'uranium. Les méthodes modernes y sont brièvement décrites et leur application est présentée à l'aide d'exemples.

No NF-T-1.5 de la collection Énergie nucléaire de l'AIEA, ISBN : 978-92-0-129010-6 ; 26,00 euros ; 2013 (en anglais)
<https://www-pub.iaea.org/books/IAEABooks/8641/Uranium-Exploration>

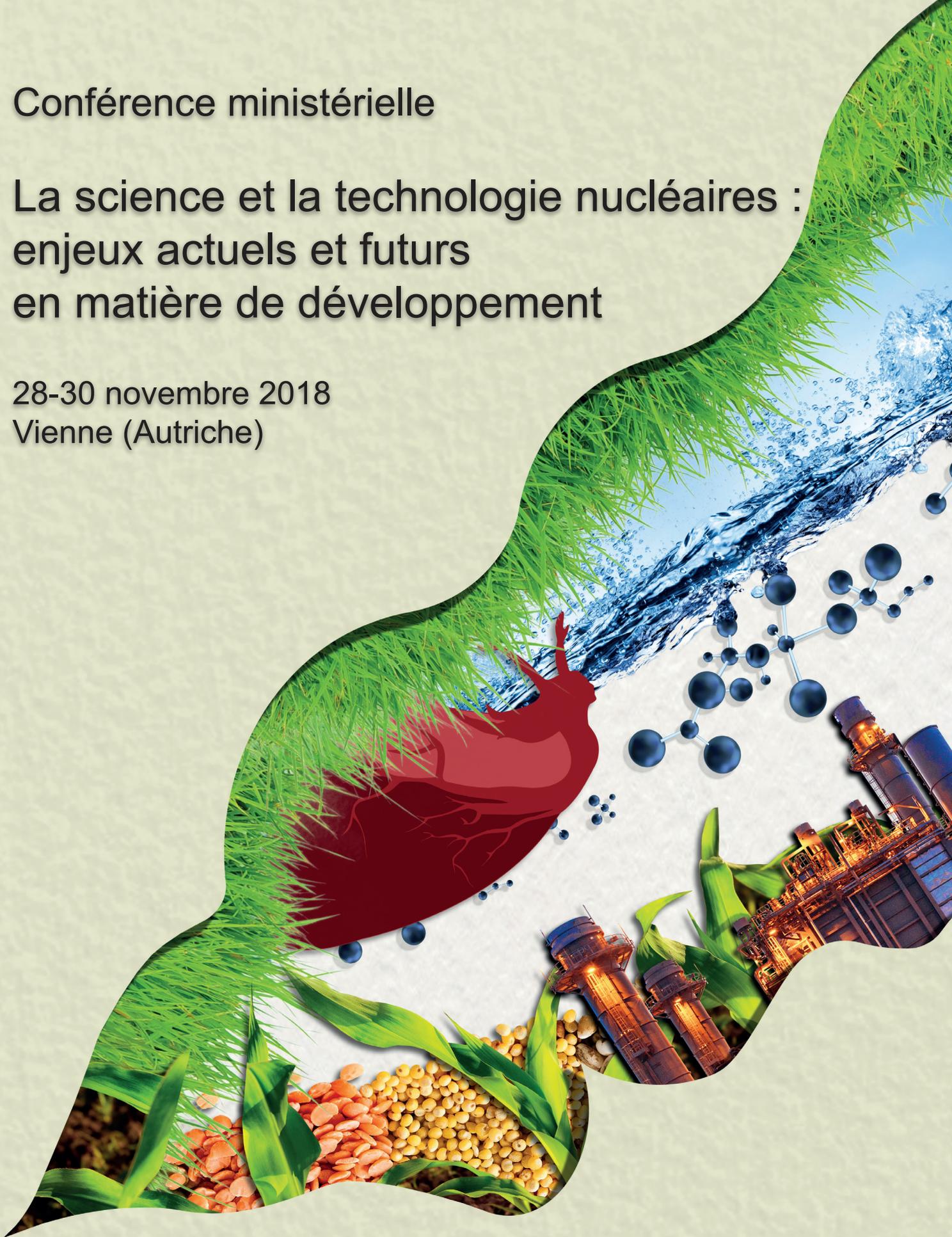
Pour obtenir de plus amples informations ou commander une publication, veuillez écrire à l'adresse suivante :

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

Conférence ministérielle

La science et la technologie nucléaires : enjeux actuels et futurs en matière de développement

28-30 novembre 2018
Vienne (Autriche)



IAEA

Agence internationale de l'énergie atomique

L'atome pour la paix et le développement

#Atoms4Life



CN-262

Forum scientifique de l'Agence internationale de l'énergie atomique

La technologie nucléaire et le climat :

*Atténuation
Surveillance
Adaptation*

18-19 septembre 2018
Centre international de Vienne
Salle du Conseil D
Bâtiment C
4^e étage



IAEA

Agence internationale de l'énergie atomique
L'atome pour la paix et le développement



<https://www.iaea.org/scientific-forum>