

# L'extraction d'uranium aujourd'hui : perceptions et réalités

Résumé détaillé



# **L'extraction d'uranium aujourd'hui : perceptions et réalités**

## **Résumé détaillé**

© OCDE 2014  
AEN N° 7064



# L'extraction d'uranium aujourd'hui : perceptions et réalités

## Introduction

Produire de l'uranium de façon sûre et responsable sur le plan environnemental est important non seulement pour les producteurs et les consommateurs du produit, mais également pour la société dans son ensemble. Considérant les perspectives de croissance de la capacité de production nucléaire pour les prochaines décennies, et de la demande en uranium qu'elle entraîne – en particulier dans les pays en développement – il est important d'améliorer la connaissance des meilleures pratiques en matière d'extraction de l'uranium. Ce résumé détaillé du rapport *Managing Environmental and Health Impacts of Uranium Mining* présente un aperçu des facteurs qui ont conduit à une évolution significative de ces pratiques depuis les premières extractions à des fins militaires jusqu'à nos jours.

L'extraction de l'uranium demeure un sujet de controverse, principalement en raison de l'héritage environnemental et sanitaire de l'exploitation minière durant sa phase initiale. Aujourd'hui, l'extraction d'uranium est réalisée dans des circonstances notablement différentes et s'avère la forme d'extraction minière la plus réglementée, et l'une des plus sûres au monde. Le rapport compare les pratiques historiques d'extraction de l'uranium aux meilleures pratiques de l'ère moderne, et fait le point sur l'évolution considérable des réglementations et des pratiques d'extraction qui s'est produit au cours de ces dernières décennies. Des études de cas des pratiques passées et actuelles sont incluses, permettant de mettre en évidence ces développements et de comparer les conséquences de ces différentes pratiques.

Avec plus de 430 réacteurs opérationnels dans le monde fin 2013, plus de 70 en construction et encore davantage à l'état de projet, il est essentiel de pouvoir fournir du combustible à ces installations à longue durée de vie pour produire sans interruption des quantités significatives d'électricité de base pendant les décennies à venir. Même si des programmes de sortie du nucléaire ont été annoncés par quelques pays suite à l'accident survenu en 2011 à la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi au Japon, la durée de vie étendue des centrales existantes et futures obligera les mines d'uranium à augmenter leur production. Le problème de l'approvisionnement en uranium auprès de pays producteurs offrant un cadre réglementaire acceptable, ainsi qu'auprès de compagnies minières appliquant les meilleures pratiques d'extraction, gagne donc en importance, d'autant que plusieurs pays qui possèdent déjà des centrales nucléaires ou prévoient d'en construire n'ont pas d'industrie locale d'extraction de ce minerai.

Cependant, la perception du public concernant l'extraction de l'uranium est largement fondée sur les impacts sanitaires et environnementaux néfastes découlant de pratiques révolues, appliquées pendant une phase initiale essentiellement non réglementée de cette industrie. L'extraction d'uranium était alors conduite principalement à des fins militaires stratégiques. Comme dans toutes les formes d'extraction minière, l'objectif était de maximiser la production, avec peu de considération pour les conséquences environnementales. Cela était également vrai pour d'autres industries lourdes, dont la priorité était la production et le profit économique. En raison des propriétés radioactives de l'uranium, les impacts sanitaires et environnementaux de ces opérations et pratiques initiales étaient plus prononcés que pour d'autres matières premières. Les anciennes installations minières des pays qui produisaient alors de l'uranium ont aujourd'hui besoin de subventions des États afin de financer l'assainissement et la réhabilitation des sites, afin de les rendre sûrs et stables. La sensibilité aux questions de santé et de sécurité des travailleurs, ainsi que les réglementations correspondantes, étaient peu développées à cette époque. Résultat, les travailleurs se trouvaient exposés à des niveaux de rayonnements aujourd'hui considérés comme dangereux, entraînant une incidence accrue des cancers du poumon et d'autres maladies. La santé des populations résidant à proximité des premières installations d'extraction d'uranium a également subi des effets négatifs lors de la contamination des réserves d'eau potable locales par des résidus miniers non confinés et des rejets non traités.

Le développement des premières mines et les pratiques d'exploitation de l'époque, combinés à une absence de remise en état effectif, ont alimenté l'opinion défavorable du public sur l'extraction d'uranium. Les anciens sites contaminés suite à ces mauvaises pratiques passées représentent un défi supplémentaire pour ceux qui veulent proposer de nouveaux projets de mines.

### Pourquoi l'uranium ?

L'uranium est mis en évidence dans la pechblende pour la première fois en 1789, lors d'une prospection dans une mine d'argent en République tchèque. Les mineurs ont rapidement pris conscience de ses propriétés uniques, certains d'entre eux étant affectés par une mystérieuse maladie après avoir travaillé avec ce minéral noir. Au milieu du XIX<sup>e</sup> siècle, la pechblende a vu sa valeur s'accroître pour la brillante teinte jaune et la fluorescence verte qu'elle conférait au verre. En 1895, les propriétés radioactives de l'uranium ont été confirmées, stimulant encore davantage la recherche, en particulier dans le domaine médical. L'intérêt pour l'uranium s'est intensifié pendant la Deuxième Guerre mondiale, lorsque la découverte de ses propriétés fissiles a suscité l'intérêt des militaires, et par la suite – avec le développement de l'énergie nucléaire – celle des fournisseurs d'électricité.

### Vers la réglementation et les bonnes pratiques

De sa découverte à la Deuxième Guerre mondiale, l'uranium était fréquemment extrait dans le cadre d'un système dit de « *free mining* ». Les impacts de cette approche sont évidents si l'on considère les ruées vers l'or des années 1840 à 1890 à travers l'Amérique du Nord et l'Australie, lorsque la revendication des droits sur un terrain et l'exploitation se déroulaient sans le moindre contrôle, laissant en héritage des sites miniers à décontaminer et restaurer.

À partir des années 1970, les effets engendrés par les premières opérations d'extraction d'uranium à des fins militaires sur la santé des travailleurs, l'environnement et la population vivant près des mines, devinrent de plus en plus flagrants. La pression sociétale, généralement conduite par les syndicats de mineurs, a mené à la création de plusieurs conseils d'investigation et commissions d'enquête, ainsi qu'à la publication de nombreuses études sanitaires qui ont clairement identifié l'étendue et l'incidence à long terme des opérations minières historiques, dépourvues de pratiques d'exploitation et de gestion des déchets adéquates. De ces investigations et de la recherche associée, sont nées les pratiques modernes d'extraction et de traitement.

Le passage d'une planification pratiquement inexistante en matière de gestion des déchets à des procédés de traitement des effluents à plusieurs étapes, avec les systèmes de gestion des déchets conçus spécialement que nous connaissons aujourd'hui, fut un processus ardu, qui s'est nourri des enseignements tirés et s'est étendu sur plus de trois décennies. En termes de protection des travailleurs, l'industrie minière s'est transformée d'une industrie où les mineurs travaillaient dans des mines souterraines mal ventilées, avec peu de formation et un encadrement réduit, à une industrie proposant un environnement de travail basé sur la géotechnique, bien ventilé et surveillé, avec un personnel bien formé, des ingénieurs des mines qualifiés et des responsables de sécurité dédiés pour contrôler et superviser les opérations. Améliorer ces derniers aspects fut également difficile mais cela a permis à terme l'émergence d'une réglementation et d'un régime d'inspections et de contrôles réglementaires et administratifs plus rigoureux, comprenant un renforcement des dispositifs législatifs visant les mauvaises pratiques ou encore la non-conformité.

Aujourd'hui, les mines d'uranium et sites de traitement appliquant les meilleures pratiques, à l'instar d'autres types d'installations nucléaires, sont réglementés par un organisme indépendant qui rend compte au chef de l'État ou au parlement et à ses responsables élus. Ce dispositif permet de réduire significativement la possibilité que des objectifs politiques ou économiques influencent les décisions réglementaires. Un organisme de réglementation nucléaire opère idéalement dans le cadre d'un système judiciaire ou quasi-judiciaire, où des décisions sont prises de manière ouverte et transparente, et consignées ensuite de façon claire, et qui permet à chacun d'être entendu.

L'expérience venant des mines d'uranium modernes montre que les entreprises qui réussissent ont élaboré des stratégies pour gérer les impacts tant positifs que négatifs de l'extraction et du traitement sur la population et sur l'environnement. Ce processus se déroule sur la base d'une coopération et d'une communication avec les communautés locales et avec leur participation étroite. Un dialogue doit être

instauré entre ces communautés, l'entreprise et le gouvernement, dans l'optique d'éviter tout problème sanitaire ou environnemental, y compris ceux liés à la fin de l'exploitation du site d'extraction ou de traitement.

Les pays qui débutent dans l'extraction d'uranium ont la possibilité de bénéficier de l'expérience passée des autres pays, mais ils ont besoin de temps afin de développer la capacité requise pour promouvoir le développement d'une extraction minière fondée sur les meilleures pratiques. En effet, mettre en place et maintenir un organisme de réglementation capable de garantir l'utilisation des meilleures pratiques, et le doter en personnel, nécessite à la fois du temps et des ressources.

### Méthodes d'extraction

Les principaux modes d'extraction examinés dans *Managing Environmental and Health Impacts of Uranium Mining* sont la lixiviation in situ (LIS, pour *in situ leach*, parfois aussi dénommée ISR, pour *in situ recovery*), l'extraction à ciel ouvert et l'extraction souterraine. Bien qu'il existe d'autres moyens de produire de l'uranium, dont sa récupération en tant que sous-produit, le traitement de l'eau ou des effluents et le retraitement des résidus miniers ou d'autres filières de déchets, dans ces cas de figure le minerai a déjà été extrait et la gestion des impacts sera étudiée dans le cadre des principaux modes d'extraction.

Dans le cas de la lixiviation in situ, l'uranium est extrait de la roche hôte sans qu'il soit nécessaire d'excaver et de traiter le minerai, afin d'éviter la production de résidus. En règle générale, la LIS consiste à introduire une solution de lixiviation dans l'aquifère minier par des puits d'injection et à récupérer l'uranium dissous à partir des solutions pompées vers la surface. Les opérations de LIS ne génèrent qu'un impact et une perturbation très faibles en surface. Les préoccupations environnementales portent presque exclusivement sur l'impact potentiel sur les ressources en eaux souterraines.

L'extraction à ciel ouvert implique d'extraire le minerai directement après le décapage de la partie de la roche qui le recouvre pour accéder aux dépôts d'uranium. Il s'agit de la méthode la plus couramment utilisée pour extraire des corps de minerai qui se trouvent soit en surface, soit relativement proches de la surface. Plus la profondeur à laquelle se situe le dépôt est grande, et plus la taille et le coût de l'exploitation augmentent, de même que la quantité de roches stériles générée. Les opérations d'extraction à ciel ouvert se caractérisent par un ratio élevé de stériles sur minerai et ont donc le plus fort impact en surface.

L'extraction souterraine est généralement utilisée pour les dépôts plus profondément enfouis, ou lorsque le minerai est distribué de telle façon que les zones de forte teneur peuvent être exploitées en priorité (dépôts filoniens). Cette méthode est généralement la forme d'extraction la plus coûteuse par tonne de roche et a historiquement été considérée comme présentant le plus haut niveau de risque en raison des chutes potentielles de roches et d'effondrements souterrains. Elle offre un faible ratio de stériles sur minerai, certaines mines n'en produisant même aucun. À ce titre, la signature en surface d'une mine souterraine est relativement réduite.

### Phases de l'extraction de l'uranium

Le rapport met en évidence les cinq phases opérationnelles du cycle de vie de l'extraction de l'uranium, qui commence dès que l'exploration a identifié un gisement d'intérêt commercial.

- **La conception** couvre tous les aspects du développement d'un gisement, de la découverte à la production minière ; elle est essentielle pour documenter tous les impacts potentiellement significatifs, obtenir les agréments réglementaires et développer les actions correctives correspondantes.
- **La construction** inclut toutes les activités physiques sur le site destinées à préparer la zone, à rassembler les travailleurs et les matériaux sur le site et à mener les travaux de construction déterminés dans la phase de conception détaillée. La phase de construction pose les fondations d'une exploitation sûre de l'installation pendant la phase de production.
- **La production** inclut tous les aspects de l'exploitation, dont la production est l'objectif premier. C'est pendant cette phase que la plupart des impacts immédiats se produiront et de ce fait, que le contrôle actif des opérations domine.
- **La réhabilitation** couvre toutes les activités qui suivent la fin de la production, dont les activités de clôture de l'exploitation, de mise hors service et d'assainissement, ainsi que le contrôle et la surveillance requis pour confirmer que le site réhabilité est conforme aux objectifs visés. Le passage d'un mode de contrôle actif à un contrôle passif est l'activité dominante à cette étape.

- **La mise à disposition** est la période pendant laquelle le contrôle formel est transféré de la compagnie minière aux autorités. La reprise en charge des sites réhabilités peut représenter un risque significatif pour les autorités ; c'est pourquoi des exigences strictes sont indispensables, de même que la démonstration que l'installation est capable d'une conformité à long terme. Lorsque les critères de la mise à disposition sont établis, il incombe aux autorités gouvernementales de s'assurer que des mesures concernant la protection à long terme de la santé publique, de la sécurité et de l'environnement ont été mises en place, sont suffisamment financées et sont durables. On parle alors de **contrôle institutionnel**.

Pour chaque opération individuelle, il existe un large éventail de problèmes qui doivent être traités afin de limiter à des normes acceptables les impacts sur la santé publique, l'environnement et la sécurité. Le rapport aborde les défis opérationnels en séparant **les défis historiques clés** et **les paramètres du cycle de vie moderne**. Il souligne que toute approche employée doit être adaptée aux circonstances propres à l'exploitation ; les approches génériques ne sont pas nécessairement appropriées.

## Comparatif des principaux aspects globaux des pratiques passées et des meilleures pratiques de l'extraction de l'uranium

Les principaux défis liés à l'extraction d'uranium sont :

1. La santé et la sécurité des travailleurs ;
2. La radioprotection (travailleurs et public) ;
3. L'eau (de surface et souterraine) ;
4. Les résidus ;
5. La gestion des stériles.

1. **La santé et la sécurité des travailleurs et du public** est essentielle pour assurer l'acceptation sociétale de l'extraction d'uranium, les pratiques passées ayant produit de graves impacts qui demeurent une partie fondamentale des arguments aujourd'hui avancés contre cette industrie. Les travailleurs n'étaient pas correctement formés ou supervisés et travaillaient dans des conditions dangereuses.
- **Historiquement**, au début de l'extraction, les questions liées à la santé et à la sécurité des travailleurs n'étaient pas bien comprises, et ne constituaient pas comme aujourd'hui une haute priorité. Les taux d'accidents et de mortalité étaient élevés.



Déchargement manuel du minerai sur une brouette dans une petite mine du plateau du Colorado au milieu des années 1950. Lors des premières opérations, les mineurs n'étaient pas correctement formés et les dangers n'étaient pas bien compris. Ceci résultait en des taux élevés de blessures et de morts.

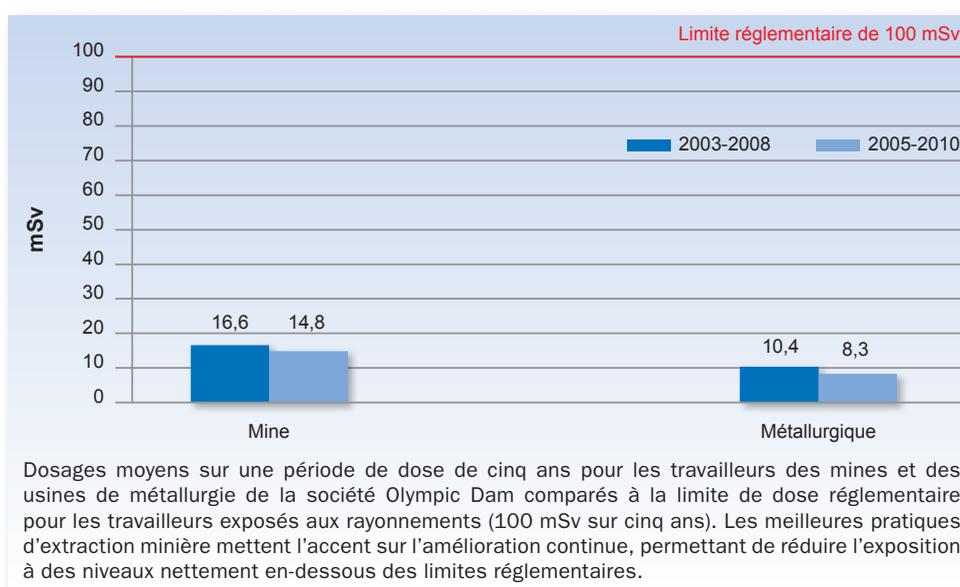
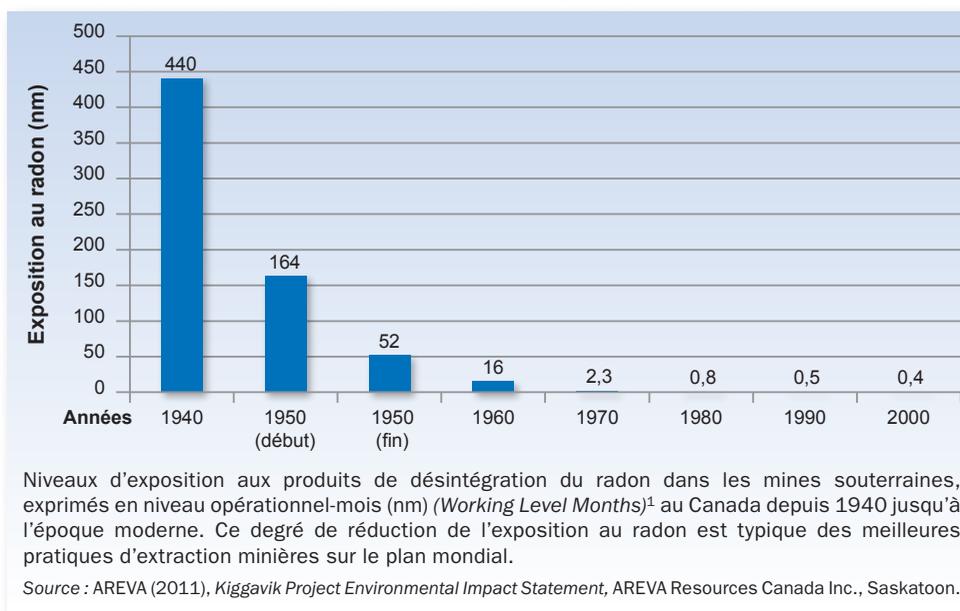
Source : Ministère de l'Intérieur des États-Unis, Bureau des Mines.



Réunion d'information sur la sûreté à la mine de Cameco. Dans les pratiques de référence d'exploitation de l'uranium, la sécurité des travailleurs est une priorité élevée. La formation préalable des travailleurs est complétée de façon régulière par des réunions d'information et des mises à jour, parfois quotidiennement.

Source : Cameco Corporation, Canada.

- **Avec les meilleures pratiques d'extraction minière modernes**, la responsabilité de l'identification et de l'élimination des risques pour la santé et pour la sécurité sur le lieu de travail est partagée par l'ensemble des acteurs concernés : les employeurs, les entreprises, les maîtres d'ouvrage, les superviseurs et les travailleurs. La réglementation est appliquée sur le lieu de travail par un régulateur qui, de manière indépendante, assure les contrôles, les examens, la documentation et les actions de soutien nécessaires pour respecter les conditions d'hygiène et de sécurité au travail. À la suite de la mise en œuvre de ces approches modernes, une nette amélioration des performances **au niveau de l'hygiène et de la sécurité au travail** a pu être observée. Ces progrès sont le résultat du développement d'une législation visant à établir des normes, d'une part, et de la création d'organismes de réglementation ayant des pouvoirs de vérification et d'application des lois et des règles, d'autre part, ainsi que de la mise en œuvre de programmes de formation par les sociétés minières. L'extraction de l'uranium selon les meilleures pratiques réalise des performances plus favorables dans le domaine de la sécurité au travail que celles des professions généralement considérées comme étant plus sûres, telles que le commerce de détail ou le travail dans les bureaux. Le rôle primordial des travailleurs consiste à mettre en œuvre les acquis de leur formation au quotidien afin d'assurer la sécurité sur le lieu de travail, à prendre des précautions raisonnables pour protéger leur propre santé et assurer leur propre sécurité ainsi que celles de leurs collègues, à utiliser efficacement les équipements de protection mis à leur disposition et à collaborer avec les comités de santé et de sécurité sur leur lieu de travail. Les travailleurs sont également tenus d'avertir leur employeur et les autorités de réglementation de toute source d'inquiétude concernant la sécurité au travail. Les sociétés minières exploitant l'uranium au Canada, par exemple, ont reçu au cours des dernières années des récompenses au niveau national pour leurs performances exceptionnelles dans le domaine de la santé et de la sécurité au travail.
2. **La radioprotection des travailleurs et de la population** constitue une exigence essentielle du bon fonctionnement des opérations d'extraction minière, les doses reçues dans le cadre professionnel dépendant des caractéristiques de l'opération réalisée ainsi que des facteurs spécifiques au site.
- **Historiquement**, pendant le boom de la production militaire au milieu du XX<sup>e</sup> siècle, les risques pour la santé liés aux rayonnements étaient peu connus et il n'y avait pratiquement aucune mesure de radioprotection dans les mines ou dans les usines de préparation de minerais. Ce contexte, cumulé avec une forte motivation pour produire au maximum et à tout prix, a donné lieu à des situations d'exposition plus importantes que celles d'aujourd'hui, faute d'une bonne maîtrise des poussières et d'une ventilation appropriée. Ces circonstances ont eu pour conséquence l'accumulation d'importants niveaux de radon (un gaz radioactif). Les opérations réalisées dans le passé ont depuis fait l'objet d'études épidémiologiques et autres, permettant d'obtenir une meilleure connaissance des risques et le renforcement du système de radioprotection.
  - **Avec les meilleures pratiques d'extraction d'uranium mises en œuvre aujourd'hui**, les niveaux d'exposition professionnelle sont bien inférieurs aux limites réglementaires établies. Les limites de dose ont été adaptées en conséquence, et de nos jours l'exposition professionnelle est sensiblement en-dessous des niveaux d'exposition du passé. Les mesures correctives visant à réduire avec succès les doses comprennent l'utilisation de méthodes d'extraction qui limitent la durée de travail dans les zones contenant des minerais de haute teneur ; la mise à disposition de zones de nettoyage pour prévenir l'accumulation des matières actives ; la surveillance pour informer le personnel de la présence de zones à fortes doses ; et l'utilisation de protections radiologiques pour réduire le débit de dose. La maîtrise de l'exposition des travailleurs au radon dans les mines d'uranium et dans les usines de préparation de minerais nécessite également des études d'ingénierie et des procédés pour évacuer le radon des lieux de travail. Le gaz radon produit pendant l'extraction et la préparation de minerais fait l'objet d'une surveillance et de contrôles permanents, et il est ventilé et évacué afin d'éviter aux travailleurs les expositions dangereuses. Actuellement, dans l'industrie d'extraction et de traitement de l'uranium, l'exposition des travailleurs au radon et à ses produits de désintégration est équivalente, ou seulement un peu plus élevée, que celle subie par la population exposée au radon naturel.



**La santé et la sécurité du public** – le public a exprimé ses inquiétudes concernant la possibilité d'être exposé à des niveaux de radon et d'uranium supérieurs aux limites réglementaires et à d'autres dangers potentiels, particulièrement en résidant à proximité d'une mine d'uranium en activité. Le rejet de radon dans l'atmosphère forme une infime partie de l'exposition humaine totale (<1 %), et le rejet au-delà du périmètre autorisé de la mine et de l'usine de traitement s'est avéré négligeable. Le rejet d'uranium et d'autres métaux lourds dans l'environnement récepteur peut être géré d'une manière efficace afin de le limiter à un niveau acceptable.

1. L'exposition cumulée au radon dans le domaine de l'extraction minière est exprimée en termes de niveau opérationnel-mois (nm). En supposant 2 000 heures de travail par an, 1 nm = 5 mSv. Un niveau opérationnel est équivalent à toute combinaison de descendants de radon à vie courte dans un volume de 1 litre d'air qui produit une émission de  $1,3 \times 10^5$  MeV d'énergie alpha potentielle. Un niveau opérationnel-mois est égal à une exposition à 1 niveau opérationnel pendant 170 heures (le nombre d'heures de travail par mois).  $1 \text{ Bq m}^3 = 0,00445 \text{ mJ h m}^3$  et  $1 \text{ mJ h m}^3 = 1,4 \text{ mSv}$  (ICRP, 1993).

**Le radon** est un gaz incolore et sans odeur et l'exposition à ce gaz au-delà des limites réglementaires peut augmenter l'incidence du cancer. Cependant, les doses reçues hors site pendant l'exploitation, même par le passé, sont, de manière générale, relativement basses (typiquement une faible proportion de la dose reçue à partir du rayonnement naturel). Des études montrent que dans un faible rayon autour des installations d'extraction et de préparation de minerais (normalement aux alentours du périmètre autorisé du site), les concentrations en radon sont proches des niveaux de rayonnement de fond mesurés sur des sites de référence situés loin de l'installation concernée.

- **Historiquement**, les doses d'irradiation les plus importantes reçues par la population étaient associées à la phase qui suivait l'arrêt définitif de l'exploitation, lorsque les contraintes concernant l'accès au site pouvaient être soit levées soit ignorées, ouvrant la porte à la contamination par exposition directe, dans les cas où l'assainissement et le déclassement du site n'avaient pas été correctement mis en œuvre. Pendant la phase de réhabilitation, les émissions de radon peuvent être réduites de manière importante par la mise en œuvre de barrières telles qu'une couverture de terre ou d'eau sur les installations émettant du radon. Dans les cas où la réhabilitation n'a pas été menée à bien correctement, l'interdiction de l'accès du public aux secteurs à haut risque, à l'aide d'un zonage spécifique et d'un contrôle de l'occupation des sols ou des panneaux de signalisation, permet de réduire les possibilités d'une augmentation de l'exposition de la population aux émissions.
  - **Avec les moyens de radioprotection modernes** et les contrôles mis en place au niveau du site d'extraction d'uranium, les populations localisées hors site, même celles habitant à proximité de l'exploitation, sont bien protégées. De manière générale, le fait d'isoler la population des sources directes d'exposition est suffisant pour s'assurer que les doses restent faibles. Par ailleurs, les pratiques qui diminuent les émissions de poussières, par exemple en réduisant le plus possible les zones d'émission en taille et en nombre, et en maintenant les résidus dans un état humide, permettent de réduire la quantité globale d'émissions.
3. Garantir la protection globale de **la qualité de l'eau** est extrêmement important pour la réussite de l'installation. Des normes de performances élevées mises en place par l'exploitant, un contrôle réglementaire efficace, des programmes de surveillance complets et l'engagement du public sont tous des facteurs clés pour traiter les questions relatives à la qualité de l'eau. L'eau peut se trouver à l'intérieur ou à proximité des extractions minières ou être utilisée dans les processus d'extraction. Les activités d'extraction minière peuvent être entreprises à proximité de sources d'eau importantes pour les biotes humains et non humains. L'extraction et le traitement de l'uranium peuvent également être entrepris dans des régions sèches, où l'eau manque pour l'appoint et pour les procédés et doit être pompée à une distance considérable avant d'être amenée sur le site. L'extraction minière peut aussi être entreprise dans des environnements où les précipitations saisonnières sont importantes, et où la gestion des excédents d'eau peut nécessiter une planification et des efforts périodiques importants.
- **Historiquement**, les techniques de contrôle et de traitement utilisées au cours des premières pratiques d'extraction n'étaient pas adéquates, permettant la contamination des bassins versants locaux, des terres basses voisines et, dans certains cas, celles situées plus en aval. Le rabattement des ressources souterraines et les impacts sur la qualité des eaux souterraines ont également été documentés. Cependant, au fil des années, et plus particulièrement depuis les années 1970, les normes relatives aux rejets aquatiques ont été renforcées. Au départ, il s'agissait surtout d'améliorer les normes conçues pour protéger l'utilisation des ressources aquifères pour la consommation humaine, alors que plus récemment, leur développement vise également la protection du biote non humain (poissons, flore et faune) et des ressources souterraines. Avant cela, les opérations de lixiviation in situ (LIS) ont parfois eu des impacts inacceptables sur les eaux souterraines, car les conséquences potentielles sur l'environnement n'étaient pas prises en compte avant l'extraction elle-même et cette technologie en était encore à ses débuts. Pour augmenter la production, les quantités de solutions acides ou alcalines (lixiviants) injectées étaient supérieures aux quantités retirées, engendrant l'écoulement d'un flux de lixivants hors de la zone d'extraction. Cette situation était aggravée par des puits mal conçus qui fuyaient dans les aquifères environnants, dont certaines étaient des sources d'eau potable de très grande qualité.



À Taboshar, une « colline jaune » de minerai broyé préparé pour une lixiviation en tas. Le manque de planification et de contrôle réglementaire combiné à des pratiques obsolètes d'extraction et de traitement ont conduit à des impacts environnementaux importants, y compris la diffusion d'agents de contamination provenant des déchets non confinés via le drainage des cours d'eau du site montagneux vers les plaines agricoles.

Source : A. Jakubic, UMREG.

Usine de concentration d'uranium du lac Key : la gestion des eaux a été et demeure une question clé pour l'exploitant et les organismes de réglementation dès le développement de la mine. La collecte et le traitement des eaux constituent des activités majeures sur le site. Les données environnementales initiales collectées avant le développement du site, ainsi qu'un programme de surveillance approfondi tout au long de la vie de l'installation et la considération des impacts prévus pendant la phase d'évaluation environnementale, ont été utilisés pour déterminer de manière objective l'impact potentiel de l'exploitation sur l'environnement local et pour ajuster avec succès les programmes de traitement des eaux selon les problèmes ou les améliorations identifiés.

Source : Cameco Corporation, Canada.



- Actuellement, sur un site d'extraction d'uranium qui utilise **les meilleures pratiques modernes**, les activités de gestion et de contrôle de l'eau qui s'écoule vers le site ou qui en est rejetée, font l'objet de toutes les attentions, malgré leur difficulté et leur coût. L'exploitant est tenu de collecter et traiter toute eau contaminée de façon à répondre aux normes en vigueur avant de la rejeter.

**La lixiviation in situ (LIS)**, la méthode d'extraction de l'uranium qui croît le plus dans le monde, doit être planifiée et conduite de manière à protéger les ressources en eau de surface et en eaux souterraines. En 2010, environ 40 % de la production mondiale d'uranium a été extraite par la méthode LIS et la part de la production LIS est en augmentation. Cette méthode domine actuellement car les capitaux nécessaires pour son développement sont relativement faibles et l'extraction dans des vastes zones de sédiments de grès à basse teneur est considérée comme économiquement réalisable. Le Kazakhstan, qui est devenu le principal producteur d'uranium dans le monde en 2009, obtient plus de 95 % de sa production par la méthode LIS. À l'inverse des méthodes d'extraction traditionnelles, les quantités de stériles et de résidus miniers sont faibles.

- Pour contrôler efficacement les opérations de LIS, le bilan hydrique des champs de captage et du site doit être modélisé pendant les opérations. L'extraction doit être conçue de manière à réduire les risques de fracture des strates imperméables et les rejets de solutions hors de la zone d'extraction. Par exemple, le volume des solutions extrait des aquifères doit être légèrement supérieur au volume injecté, de manière à garantir un flux net entrant depuis les aquifères voisins alors que dans le passé, le flux net était sortant. Les projets d'extraction doivent être basés sur la compréhension globale des éléments hydrologiques, hydrogéologiques et hydrogéochimiques de la zone, y compris ceux qui justifieraient l'extraction par LIS. La nature de la solution d'extraction envisagée et la conception du champ de captage doivent correspondre aux caractéristiques du site, et plus particulièrement aux minéraux et aux eaux souterraines se trouvant dans l'aquifère minier. L'extraction ne doit pas compromettre la qualité des eaux souterraines de l'aquifère minier au point de ne pas pouvoir garantir l'utilisation de l'eau prévue au-delà de l'exploitation après la phase de réhabilitation du site. L'extraction ne doit

en aucun cas compromettre l'utilisation des eaux se trouvant dans l'aquifère minier au-delà d'une distance convenue (ne dépassant pas quelques kilomètres). Les autres aquifères se trouvant dans ou autour de la zone du bail minier, ne doivent pas être affectés par l'extraction de l'uranium.



Tête de puits avec bac de récupération et détecteur en ligne (à gauche) ; bassin d'évaporation avec détection de fuites (à droite) à la mine LIS de Beverley. Un processus EIA complet basé sur une compréhension approfondie des conditions locales du site, des essais sur le terrain et des données environnementales initiales, démontrant que le confinement du puits sur le terrain était nécessaire avant d'obtenir l'approbation pour commencer les opérations. Un suivi environnemental continu garantit que l'installation fonctionne comme prévu.

Source : Heathgate Resources Pty Ltd, Australie.

4. **Les résidus** sont les déchets restant après l'extraction d'un élément d'intérêt à partir du minerai issu d'une mine à ciel ouvert ou souterraine. Dans les industries extractives, les résidus représentent souvent les principaux déchets dangereux dont la gestion doit être envisagée à très long terme. Cette gestion comprend globalement les processus physiques et chimiques impliqués dans la production et le stockage des résidus, ainsi que le développement, l'exploitation et la fermeture de l'installation dans laquelle les résidus ont été stockés. L'extraction de l'uranium est généralement réalisée par lixiviation à l'aide d'une solution acide (acide sulfurique par exemple) ou alcaline (bicarbonate par exemple), selon la composition minérale du site. Ce processus de traitement libère également d'autres composants du minerai potentiellement néfastes pour l'environnement, comme les métaux lourds. Par conséquent, l'eau (effluent liquide) rejetée avec les solides vers la zone de retenue des résidus doit être retirée par évaporation ou traitée avant le rejet.

Après l'extraction de l'uranium, les résidus en contiennent encore un peu (l'efficacité de l'extraction n'atteint jamais les 100 %), ainsi que d'autres éléments radioactifs issus de la chaîne de filiation de l'uranium, comme le radium. La décroissance du radium est responsable de l'exhalation du radon à la surface des résidus. La quantité de radioactivité restante dans les résidus est en grande partie dépendante de la teneur du minerai apporté au broyage. En général, environ 85 % de l'activité totale contenue dans le minerai d'uranium est déposée sur les résidus. Après la décroissance des isotopes de thorium 234 et de protactinium 234 au bout de quelques mois, l'activité des résidus représente environ 75 % de la radioactivité naturelle initiale de la roche, et reste à ce niveau pendant plus de 10 000 ans.

Les résidus contiennent habituellement de l'arsenic, du nickel et d'autres métaux lourds du minerai, ainsi que les produits chimiques utilisés dans le processus d'extraction. Le risque présenté par le confinement des résidus est lié à la probabilité de rupture du confinement et/ou d'infiltrations provenant de la zone de retenue, ayant un impact sur l'environnement, en particulier sur les eaux de surface et les eaux souterraines. Pour les résidus d'uranium, le risque perçu est intensifié par la présence d'éléments radioactifs, même si les risques les plus importants proviennent des concentrations de métaux lourds dans les résidus. Cependant, si les résidus sont gérés convenablement, l'impact sur l'environnement et la santé de l'homme est considérablement inférieur à ce qu'on croit généralement.

- **Historiquement**, quand les impacts environnementaux n'étaient ni compris ni un sujet d'inquiétude pour le grand public, peu de gouvernements ont régulé les aspects environnementaux de l'exploitation minière et de la gestion des résidus.



Zone d'entreposage des résidus d'Helmsdorf lors de l'exploitation : les résidus étaient déposés dans une vallée peu profonde adjacente à l'usine de traitement, contenue par deux barrages construits en stériles miniers. Aucun revêtement de fond pour la protection des eaux souterraines n'était installé avant l'exploitation et très peu de considération était accordée aux impacts potentiels dus à des fuites ou à une défaillance du barrage sur les communautés situées en aval de la retenue d'eau.

Source : A. Jakubik/Wismut, Allemagne.

Par conséquent, les compositions physiques et chimiques des résidus n'étaient pas suffisamment contrôlées. Les résidus étaient tout simplement placés dans des zones de stockage basses, telles que des cours d'eau ou des lacs proche de l'usine de traitement. De telles pratiques ne seraient pas approuvées par les organismes de régulation à l'heure actuelle, à moins que l'absence convenue d'impacts négatifs ne puisse être clairement démontrée.

- **Dans les meilleures pratiques d'extraction modernes**, des outils de modélisation de transport de contaminants sont utilisés pour la conception et la validation des installations de gestion des résidus et pour les projections à long terme des effets de ces contaminants sur l'environnement récepteur. La calibration des modèles utilisant les données de suivi environnemental recueillies durant la période d'exploitation renforce la validité des prédictions de la performance à long terme. En plus d'avoir amélioré la conception des installations dans lesquelles les résidus sont stockés, les avancées dans la gestion des résidus se sont centrées sur le contrôle des propriétés chimiques et physiques des résidus. Aujourd'hui, même les résidus provenant des minerais de haute teneur les plus complexes peuvent être gérés et traités en toute sécurité.



Zone de gestion des résidus (TMA, *tailings management area*) du lac Cluff avant (à gauche) et après (à droite) la réhabilitation et la re-végétation. Pendant la durée de service du centre de traitement du lac Cluff, tous les résidus et les eaux contaminées générées sur le site étaient transférés vers le TMA pour la mise en dépôt et le traitement. La phase de réhabilitation en 2001 et 2003 incluait la mise en place d'une arase d'1 m au-dessus des zones de stockage des résidus afin de minimiser les dangers radiologiques et les émissions de poussière, tout en favorisant la consolidation des résidus.

Source : AREVA Resources Canada.

La meilleure pratique consiste à stocker les résidus dans une installation de gestion conçue à cet effet ou dans un puits à ciel ouvert épuisé qui a été aménagé pour contenir et consolider des résidus de manière à isoler la matière de l'environnement récepteur longtemps après la réhabilitation et le déclassement du site et le transfert des responsabilités de suivi de la compagnie minière au gouvernement. Les puits à ciel ouvert épuisés présentent des avantages en matière de stabilité physique sur les structures construites par l'homme, nécessitent moins d'entretien et ne sont guère sujets à une défaillance physique.

5. **Les stériles miniers** sont les matériaux excavés pendant l'extraction à ciel ouvert et souterraine de tout minéral, y compris l'uranium, et qui n'ont pas de valeur commerciale. Ils peuvent être soit propres (ne posant pas de problème environnemental), soit problématiques.
- **Historiquement**, la composition chimique des stériles miniers avant leur dépôt en déblai de déchets ou leur utilisation comme remblai minier ou matériau de construction ne faisait l'objet que de peu d'attention. En conséquence, on a assisté à un héritage de cas de drainage acide et de lixiviation des métaux lourds provenant des sites miniers à travers le monde. Dans certains cas, des stériles miniers problématiques ont été retirés des sites miniers et utilisés ailleurs de façon inappropriée.



Tas de stériles miniers, Schlema, 1960 : la zone de Schlema a été exploitée de 1946 à 1990, produisant environ 80 000 tU. Durant l'exploitation minière, un vaste paysage de tas de résidus a été créé sur et autour du site de la ville thermique historique d'Oberschlema (une des villes thermales au radium les plus réputées d'Allemagne, développée pour la première fois en 1918). Pendant l'exploitation, les thermes et la ville ont été oblitérés alors que les stériles miniers étaient déversés dans le centre-ville et aux environs. Un développement urbain favorable à la suite de la réhabilitation complète des legs miniers de la zone historique est illustré à Bad Schlema, où les touristes reviennent et où le titre de « ville thermique » a été reconquis.

Source : Wismut GmbH, Allemagne.



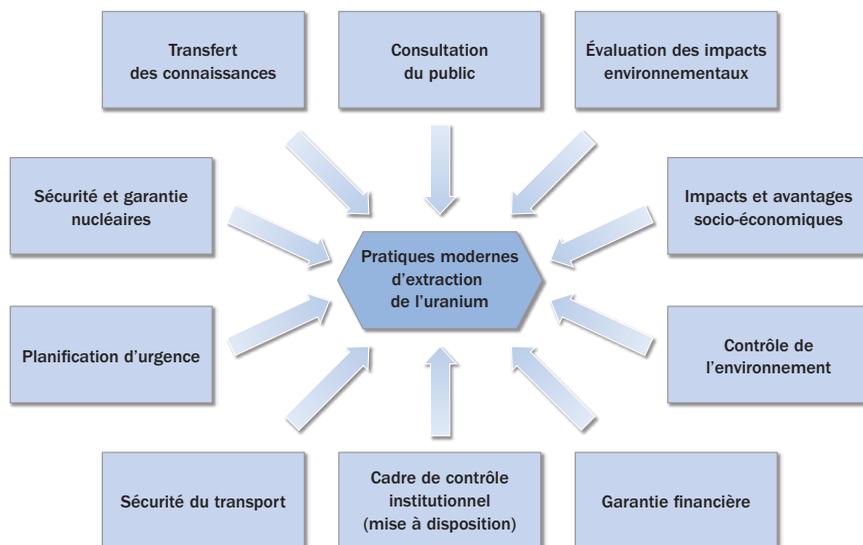
Système d'analyse des chargements d'extraits miniers pour classifier le minerai et isoler les stériles miniers potentiellement problématiques pour une mise en dépôt appropriée, lac McClean.

Source : AREVA Resources Canada.

- **Dans les meilleures pratiques d'extraction modernes**, une caractérisation et des contrôles corrects permettent qu'une part importante des stériles miniers propres soit stockée et facilement utilisable pour des travaux de construction, comme les routes ou les systèmes de protection contre l'érosion autour des traversées de cours d'eau. Les stériles miniers problématiques présentant de faibles quantités du minéral cible ou d'autres minéraux ayant le potentiel d'impacter négativement l'environnement doivent être séparés et traités de façon appropriée. La présence de sulfates ou de carbonates requiert une attention particulière. La météorisation (exposition à l'air et à l'eau) des stériles miniers contenant de tels minéraux a le potentiel d'altérer les propriétés chimiques de l'eau, ce qui peut avoir un effet direct et néfaste sur l'environnement à travers l'acidification ou la mobilisation d'autres métaux lourds dans les stériles miniers ou l'environnement. Les écoulements acides provenant des sites miniers, généralement désignés sous le terme de drainage rocheux acide (ou drainage minier acide) est une problématique commune à toutes les activités minières. L'extraction de l'uranium, cependant, pose un problème supplémentaire par la présence d'éléments radioactifs et donc la mobilité et les effets des radionucléides dans l'environnement doivent aussi être considérés dans la gestion de la roche de mine. Les propriétés des stériles miniers provenant des puits à ciel ouvert et des mines souterraines font l'objet d'une attention particulière dans la planification des mines modernes. Les stériles miniers sont caractérisés grâce à l'échantillonnage et les essais en laboratoire pour comprendre le potentiel de la production d'acide et la lixiviation des éléments trace. Des plans de gestion de la roche de mine sont développés et les effets potentiels sur l'environnement sont pris en compte tôt dans le processus de développement de la mine. De tels plans incluent des stratégies pour séparer la roche bénigne (propre) de la roche de mine potentiellement problématique.

## Paramètres modernes de la gestion des mines d'uranium

Alors que le régime réglementaire a évolué et que l'industrie s'est adaptée et a développé des innovations pour répondre aux exigences et aux problématiques émergentes, un certain nombre de paramètres qui étaient rarement voire jamais utilisés ou même considérés pendant le cycle de vie de la mine lors des prémices de l'industrie, ont été introduits dans les meilleures pratiques d'exploitation. Ces aspects supplémentaires du développement, de l'exploitation et de la fermeture de la mine sont aujourd'hui considérés comme étant cruciaux pour gérer efficacement les impacts liés à la santé, la sécurité et l'environnement de l'exploitation. Avec la mise en œuvre de ces paramètres du cycle de vie de la mine et des exigences réglementaires, les meilleures pratiques d'extraction de l'uranium se sont imposées dans la gestion de la sécurité et de l'environnement.



### Consultation du public

L'uranium a été exploité pour la première fois en grande quantité pour répondre aux exigences stratégiques militaires après la Seconde Guerre mondiale. L'extraction a été menée dans les premiers temps avec un certain degré de confidentialité et les parties prenantes n'étaient que rarement, ou jamais, informées des projets de mines, de leur développement et des questions liées. À l'heure actuelle, dans les meilleures pratiques d'extraction minière, la consultation du public tient une place importante tout au long du cycle de vie de la mine pour informer l'ensemble des parties prenantes, en particulier les résidents locaux, des plans de développement, de l'exploitation, de la performance environnementale, du déclassement et de la réhabilitation. Les parties prenantes intéressées ont de multiples occasions d'être informées et de pouvoir dialoguer avec les exploitants et les régulateurs. La consultation du public comprend également une évaluation des impacts socio-économiques positifs et négatifs de l'exploitation minière et de la planification y compris jusqu'à la fin de l'exploitation, quand la mine ferme et que le stimulus économique dû à l'activité minière cesse.

1. Un processus efficace de **consultation du public** facilite le dialogue avec le public et les autres parties prenantes dans le but de prendre en compte leurs questions et inquiétudes. Il ne s'agit pas simplement d'un programme de diffusion d'informations vers l'extérieur, mais plutôt d'un processus à double sens qui encourage activement et documente les questions et réponses soulevées dans le cadre de l'implication des parties prenantes. L'amélioration des efforts d'information du public et de consultation avec les parties prenantes permet à l'industrie de mieux apaiser les inquiétudes ou les craintes sans fondement relatives à la réglementation et la gestion du rayonnement, ainsi qu'à son impact sur les travailleurs, le public et l'environnement. Le public constitue une ressource précieuse pour les défenseurs de l'extraction d'uranium et les agences de réglementation, ce qui devrait se refléter dans la façon dont il est traité. Un public informé et favorable facilitera l'évaluation et l'autorisation rapides de nouvelles mines. Un public craintif et réticent aura l'effet inverse.

Dans les pays disposant de bonnes pratiques en matière de mines d'uranium, la consultation du public est obligatoire lors du développement d'une mine, depuis les premières étapes d'une proposition jusqu'à l'autorisation, y compris durant la phase opérationnelle, lorsque les données de surveillance sont rendues publiques et que les sociétés minières et les autorités de sûreté discutent des résultats avec le public et les autres parties prenantes intéressées. La consultation du public et l'implication des parties prenantes sont des facteurs essentiels pour obtenir et conserver un permis social d'exploitation minière.

2. **Une évaluation de l'impact environnemental** (EIA, *Environmental impact assessment*) est nécessaire pour planifier soigneusement les projets et offre l'opportunité de faire participer les parties prenantes, y compris le public et les groupes d'intérêt, comme les populations autochtones.

Une EIA est un processus utilisé pour prédire et minimiser les effets environnementaux des initiatives proposées avant qu'elles ne soient pleinement planifiées ou mises en œuvre. Il s'agit d'un outil de planification, de prise de décision et de consultation du public servant à informer et à impliquer les membres du public ainsi que d'autres parties prenantes. De manière générale, les objectifs de l'EIA consistent à intégrer les facteurs environnementaux dans la prise de décision, à identifier les impacts environnementaux potentiels d'un projet proposé et à décrire les moyens de minimiser ou d'éviter les effets néfastes pour l'environnement avant qu'un projet ne soit autorisé et démarré. L'EIA offre aux parties prenantes une vue d'ensemble du projet et détaille les mesures spécifiques proposées pour atténuer ou minimiser les effets environnementaux potentiels en cas de concrétisation du projet.

3. Une analyse des **impacts et avantages socio-économiques** est réalisée dans les juridictions disposant de bonnes pratiques afin d'évaluer les effets sur la communauté locale avant de prendre la décision de débiter l'exploitation minière. Cette analyse est souvent menée dans le cadre d'une EIA. L'exploitation minière est une utilisation temporaire du sol ; toutes les mines ferment un jour ou l'autre. Bien que l'industrie soit capable de générer des opportunités économiques significatives durant les phases de développement et de production des mines, elle laissera au final un vide dans l'infrastructure économique régionale lorsque l'activité cessera. L'exploitation minière peut également attirer une main-d'œuvre transitoire dans une région, parfois même dans des zones isolées. En cas d'autorisation de l'exploitation minière, des accords sont généralement conclus avec les gouvernements afin de garantir que les populations locales bénéficieront de l'extraction de la ressource, même après la fermeture de la mine, puisque les entreprises et les compétences développées durant les opérations sont transférables à l'industrie minière régionale ainsi qu'à d'autres activités. Au final, c'est bien à l'échelle locale que les impacts de l'exploitation minière seront les plus importants.

L'industrie minière est une force majeure dans l'économie mondiale : elle occupe une position primordiale au début de la chaîne d'approvisionnement en ressources. Les avantages de l'exploitation minière incluent les investissements étrangers directs, les investissements nationaux dans l'économie locale et la création de produits d'exportation pouvant constituer des moteurs économiques puissants. L'extraction d'uranium peut générer des emplois et améliorer le niveau de formation et de vie. Elle peut aussi servir de catalyseur à l'économie locale ou à plus grande échelle, permettant le développement des industries secondaires, comme les secteurs du commerce de détail ou des services qui approvisionnent la mine et ses employés. Les besoins de l'industrie minière en termes d'infrastructures, notamment de routes, d'aéroports et de la fourniture d'eau et d'électricité, peuvent entraîner un développement régional à plus long terme.

La durée de vie des mines varie considérablement, et bien que certaines soient exploitées pendant plusieurs décennies, à la fin, les mines s'épuisent ou la rentabilité économique de l'activité change, ce qui conduit à la fermeture et au déclassement des mines. Les avantages économiques directs découlant de l'activité cessent d'exister et les travailleurs formés et expérimentés peuvent se voir obligés de chercher un emploi ailleurs. Pendant la durée de vie utile d'une mine, des effets négatifs peuvent également se manifester, particulièrement au niveau local, comme une

perturbation des styles de vie traditionnels, des pressions sociales potentielles créées par l'afflux de travailleurs extérieurs et, parfois, un enrichissement accru au sein de petites communautés susceptible de causer des dépendances et d'autres pressions sociales. Par conséquent, tous les aspects socio-économiques de l'exploitation minière doivent être soigneusement évalués par les parties prenantes avant le développement d'une mine. Même si l'extraction d'uranium peut offrir des avantages socio-économiques importants aux populations locales, on ne peut pas attendre de l'industrie qu'elle résolve à elle seule tous les problèmes socio-économiques et de développement d'une région.

4. Des programmes de **contrôle de l'environnement** sont nécessaires afin de démontrer que les installations fonctionnent comme prévu. Pour cela, on utilise la collecte de données environnementales qui évaluent de façon objective les impacts sur l'écosystème durant toute la durée de vie de la mine et fournissent une assurance quant à la performance. Au début, les installations d'extraction et de concentration d'uranium n'avaient que peu, voire aucun contrôle de l'environnement, ce qui entraînait souvent une vaste contamination nécessitant des efforts de réhabilitation complexes et coûteux. Si le degré de contamination avait été mieux appréhendé grâce à la mise en place de programmes de contrôle de l'environnement lorsque l'exploitation minière a commencé, la contamination aurait pu être détectée plus tôt et des mesures correctives prises. Grâce à la sensibilisation accrue et au développement du contrôle réglementaire dans les années 1970, de plus en plus d'efforts ont été consacrés à l'établissement de programmes adéquats de contrôle de l'environnement. Cette surveillance permet de comparer la performance d'un site par rapport aux objectifs et exigences définis dans l'EIA et aux conditions d'autorisation de l'opération. Le but général est de déterminer si l'impact des opérations sur l'environnement dépasse les limites définies par le régulateur et, après le déclassement, de vérifier que les travaux de réhabilitation ont eu les effets prévus.

#### Performance environnementale

L'extraction d'uranium a débuté à une époque où la maximisation de la production était le principal objectif de l'exploitation minière et où la gestion des impacts environnementaux n'était quasiment pas prise en compte. Aujourd'hui, les effets sur l'environnement sont au cœur de bonnes pratiques en matière d'extraction d'uranium tout au long de la durée de vie de la mine, aussi bien durant la collecte de données environnementales de base dans une phase exploratoire avancée que lors de la phase opérationnelle, et jusqu'à la fermeture, le déclassement et la réhabilitation du site. L'élaboration de stratégies pour minimiser les impacts environnementaux est une part intégrale de l'EIA et de la phase d'autorisation. Les paramètres environnementaux critiques sont régulièrement mesurés lors des phases d'exploitation et de déclassement afin de s'assurer que les objectifs de performance environnementale planifiés sont atteints.

La surveillance environnementale est un élément primordial de la protection sanitaire et environnementale de toute installation d'extraction d'uranium. **La collecte de données environnementales de base** en nombre suffisant est donc une première étape essentielle dans la conception et la mise en place d'un programme de surveillance de l'environnement adéquat. Pour que l'impact de l'opération soit évalué de manière objective, les données collectées doivent pouvoir être comparées à des données de base antérieures à l'extraction. Il est donc important de commencer à collecter ces données dès la phase d'exploration, avant que le site ne connaisse des changements physiques importants. Les programmes de surveillance doivent être régulièrement examinés afin de s'assurer qu'ils demeurent pertinents, notamment quant aux paramètres surveillés, à l'emplacement des stations de surveillance et à la fréquence des activités de contrôle. Des rapports doivent être remis aux instances de régulation et de préférence rendus publics, habituellement à une fréquence semestrielle ou annuelle. Le contrôle de la qualité des eaux en amont et en aval des environs du site doit inclure tous les cours d'eau adjacents (même s'ils ne sont pas pérennes), ainsi que les rivières et les lacs, et doit être effectué de manière saisonnière : pendant les périodes sèches, hivernales, printanières ou encore la saison des pluies dans les climats tropicaux. On exige généralement un examen périodique et complet des paramètres de l'écosystème dans lequel la mine est installée, et des contrôles de

routine plus fréquents portant sur des aspects moins nombreux mais néanmoins d'intérêt. Cela peut constituer une méthode efficace, efficiente et rentable de surveillance des principaux aspects de l'exploitation.

5. **La garantie financière** est également une composante des meilleures pratiques d'extraction. Elle vise à couvrir les coûts des activités de déclassement et de réhabilitation, au cas où l'entreprise faillirait à s'acquitter de ses responsabilités. Les gouvernements ont dû procéder eux-mêmes à la réhabilitation, souvent coûteuse, des sites d'extraction d'uranium datant de la période stratégique initiale. Afin de s'assurer que ce sont les sociétés minières, et non les gouvernements, qui assument l'entière responsabilité du financement des activités de déclassement et de réhabilitation, les juridictions utilisant des pratiques de référence exigent que les sociétés d'extraction d'uranium affectent des fonds à cette garantie financière. Les sociétés d'extraction doivent donc concevoir puis faire approuver un plan de réhabilitation avant de commencer la production, et doivent affecter des garanties financières suffisantes pour les coûts de déclassement et de réhabilitation susceptibles d'apparaître au cours du cycle de vie de l'exploitation minière.

Pour déterminer le montant de la garantie financière nécessaire, il faut prendre en compte les coûts d'assainissement du site et d'éventuelles mesures d'entretien à long terme. Dans de nombreuses juridictions, les exigences ont évolué : des plans d'assainissement de la mine sont demandés au moment de l'attribution initiale du permis. Ils doivent indiquer les coûts prévus pour les futurs travaux de réhabilitation, ainsi que les garanties financières correspondantes. Une réévaluation périodique est nécessaire au fil du développement des activités minières (c'est-à-dire tous les un à cinq ans). Les garanties financières peuvent atteindre un montant conséquent, car il faut prendre en compte les limitations inhérentes à la prévision des coûts d'activités longtemps à l'avance, et notamment les incertitudes raisonnablement prévisibles. Le coût de réhabilitation future, ainsi que celui des garanties financières nécessaires, se sont avérés des facteurs de motivation efficaces pour minimiser les risques environnementaux pendant la période d'exploitation. Les revues et l'ajustement périodiques des garanties financières pour un site donné peuvent inclure les réductions associées au déclassement approuvé d'éléments de l'installation pendant la phase opérationnelle (lorsque cela est possible), ce qui réduit d'autant le coût total du déclassement. Cela a l'avantage supplémentaire d'inciter les producteurs à mener des activités de réhabilitation pendant l'exploitation elle-même.

#### Planifier la fermeture

Comme tous les sites d'exploitation miniers de l'époque, les premières mines d'uranium étaient rarement mises hors service correctement, car il n'existait pas encore de législation définissant les responsabilités des entreprises en matière de fermeture des sites d'exploitation. Cette situation entraînait souvent de forts impacts environnementaux, dont l'assainissement restait à la charge des États. Aujourd'hui, avec les meilleures pratiques d'extraction d'uranium, la planification de l'arrêt de la mine a lieu avant même l'attribution d'un permis d'exploitation. Les entreprises doivent déposer leurs garanties financières auprès des autorités de régulation. Leur montant doit couvrir le coût du plan de déclassement de la mine (après qu'il a été approuvé). Les gouvernements doivent aussi établir un cadre de prise en charge de la mine une fois que la société minière en a terminé le déclassement et que le site a été stabilisé comme prévu. Enfin, les documents sur les activités de fermeture doivent être archivés, au cas où une intervention future serait nécessaire sur le site de la mine hors service.

6. **La planification pour le cadre de contrôle institutionnel** ou autrement dit la phase de « mise à disposition » est l'étape finale importante du cycle de vie de la mine. Afin que les sociétés minières d'uranium comprennent les exigences opérationnelles et financières à long terme, les exigences à remplir pour que les propriétés minières correctement mises hors service soient rendues au propriétaire foncier – généralement le gouvernement – doivent être clairement établies.

Une fois que l'exploitant a terminé les activités approuvées de déclassement et de réhabilitation, le site entre dans une période de suivi de la phase de transition, durant laquelle l'exploitant doit continuer à surveiller et entretenir le site. Pendant la période de suivi de la phase de transition, les organismes de régulation continuent à mener des inspections périodiques et à examiner les résultats du suivi, et l'exploitant demeure pleinement responsable pour tout impact causé par le site sur l'environnement, les communautés environnantes et la santé publique.

Si la performance du site est conforme au plan de déclassement et de réhabilitation et atteint la stabilité prévue lors du suivi de la phase de transition, l'exploitant peut faire une demande pour être déchargé de ses responsabilités de suivi et d'entretien, ainsi que de l'obligation de garantie financière.

Deux types de financement pour la phase de mise à disposition peuvent être nécessaires, le premier pour le suivi et l'entretien et le second pour les événements imprévus. De plus, un registre formel du site fermé est requis ainsi que la gestion du financement et la performance de tout travail de suivi et d'entretien nécessaire. Le fonds de suivi et d'entretien est destiné à financer ces activités à long terme, alors que le fonds consacré aux événements imprévus servira à payer les dégâts dûs à des catastrophes naturelles, telles que les inondations ou les tornades.

### Sécurité et mesures de sauvegarde

Les membres de la société veulent l'assurance que l'uranium produit dans les mines est utilisé exclusivement aux fins prévues, c'est-à-dire principalement en tant que matière première du combustible nucléaire dans les centrales nucléaires, mais aussi, dans une moindre mesure, pour des réacteurs de recherche ou pour la production de radioisotopes à usage médical. Puisque les mines sont généralement situées à quelque distance des installations dans la chaîne de production du combustible nucléaire (usines de conversion, d'enrichissement et de production du combustible), le transport des matières en toute sécurité constitue une priorité supplémentaire. Grâce aux meilleures pratiques mises en place par les sociétés minières combinées aux normes et accords internationaux, l'uranium est aujourd'hui régulièrement transporté de manière sûre à travers le monde, le produit étant suivi depuis la mine jusqu'à la production du combustible à sa destination finale après avoir été utilisé dans un réacteur pour produire de l'électricité.

7. **Le transport en toute sécurité des concentrés d'uranium** (UOC, *uranium ore concentrates*) est un élément à part entière de la chaîne de production. Alors que les prévisions font état d'une demande croissante en uranium qui conduira à des expansions et au développement de nouvelles opérations minières dans diverses juridictions, et compte tenu du fait que la production se situe souvent en dehors des pays consommateurs d'uranium, la sécurité du transport demeure une priorité importante.

L'exploitation nécessite de pouvoir transporter diverses matières dangereuses – y compris les matières de production, tels que l'acide, la base, les combustibles et les explosifs, ainsi que le produit final ou intermédiaire. Les déplacements des marchandises dangereuses par transport routier, ferroviaire et/ou maritime sont réglementés par les autorités compétentes nationales et/ou régionales. En raison de sa faible activité par unité de masse, le concentré d'uranium est considéré comme étant peu dangereux et peut ainsi être transporté en tant que colis industriel avec le marquage et la signalisation appropriés. Le transport des concentrés d'uranium est actuellement effectué dans des fûts en acier étanches et réutilisables qui sont chargés dans des conteneurs certifiés ISO (Organisation internationale de normalisation). Afin de garantir la sécurité et l'efficacité du transport, des bonnes pratiques industrielles ont été définies et mises en place, qui comprennent des recommandations concernant la conception, la dimension, le matériau et l'étiquetage des fûts, ainsi que des exigences pour les couvercles et les colliers. Bien que le concentré d'uranium soit constitué principalement d'uranium, sa radioactivité par masse est bien en-deçà de l'activité du minerai. Par conséquent, le principal problème de santé posé par le concentré d'uranium concerne sa toxicité chimique en tant que métal lourd, plutôt que sa radioactivité.

Le risque potentiel en matière d'environnement et de sécurité posé par le transport des concentrés d'uranium a été identifié tôt dans le développement de l'énergie nucléaire. Des régimes stricts ont ainsi été institués dès les années 60. À la fin des années 90, l'Institut mondial du transport nucléaire (*World Nuclear Transport Institute*) a été fondé par l'industrie pour représenter les intérêts collectifs du secteur des transports des matières radioactives. Les réglementations de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) concernant le transport sûr des matières radioactives sont devenues une norme acceptée internationalement par les gouvernements et l'industrie. Il incombe aux gouvernements d'adopter ces réglementations, qui ont maintenant été adoptées par 60 pays environ. Le transport des matières nucléaires a un très bon bilan en matière de sécurité, ce qui mérite d'être particulièrement noté, étant donné les grandes distances concernées et le grand nombre de colis ayant été transportés avec succès. Bien que les concentrés d'uranium aient été transportés à travers le monde depuis des décennies vers les installations existantes de conversion et d'enrichissement, aucun accident n'ayant entraîné des dommages sérieux envers des personnes ou l'environnement n'a été enregistré à cette date.

8. **La planification d'urgence** englobe à la fois la préparation aux situations d'urgence et les activités liées aux interventions d'urgence. Sur tous les sites miniers, la planification d'urgence fait partie du quotidien, des matières dangereuses étant régulièrement utilisées dans la phase de production. Les risques radiologiques doivent également être pris en compte lors de l'extraction et le traitement de l'uranium. Les matières étant faiblement radioactives, les principales mesures de préparation et de réponse aux situations d'urgence sont couvertes par le programme de radioprotection.

La préparation aux situations d'urgence est liée au type d'extraction utilisé (souterraine, ciel ouvert ou LIS) puisque différents scénarios d'urgence doivent être considérés pour chaque type. Néanmoins, il est peu probable qu'il y ait des conséquences hors site, radiologiques ou autres, résultant de l'exploitation minière de l'uranium. La contamination hors site nécessitant une intervention pourrait cependant se produire, en raison de fuites des installations de gestion des résidus.

Les exigences concernant la préparation aux situations d'urgence sont définies dans les réglementations nationales et sont ainsi spécifiques à chaque pays. En général, il est prévu que les autorités nationales et les exploitants mènent des évaluations régulières des risques posés par les installations. Un point très important dans la gestion des incidents liés aux matières radioactives est de tenir le public informé. Ceci permet d'une part de prévenir toute réaction inappropriée du public, et d'autre part d'éviter les critiques relatives à un manque de transparence. À cette fin, il est recommandé que des protocoles soient établis pour définir les moyens de communiquer les incidents au public.

9. **Les mesures de garantie et de sécurité nucléaire** ont gagné de l'importance ces dernières années, particulièrement depuis les attaques terroristes de septembre 2011 aux États-Unis, et sont apparues comme étant plus complexes que les questions liées à la sûreté en raison de l'environnement extérieur et des menaces diverses. L'appréhension principale est qu'une organisation criminelle obtienne les matières nucléaires pour créer une arme nucléaire ou un dispositif de dispersion radiologique (« bombe sale »), ou qu'elle sabote une installation nucléaire ou le transport de matières nucléaires. Dans le cas de l'exploitation de l'uranium, le principal élément d'intérêt en matière de sécurité est le concentré d'uranium, pour lequel un conteneur d'expédition (25 barils) soit 10 tonnes de concentré d'uranium est considéré comme une « quantité importante ». Le terme de quantité importante indique la quantité de matière fissile nécessaire pour créer un dispositif nucléaire explosif, bien qu'une expertise considérable ainsi qu'un accès à des installations sensibles de retraitement seraient nécessaires pour transformer le concentré d'uranium en arme. La création d'une bombe sale à partir de matières radioactives prélevées sur un site minier est peu probable et par conséquent présente un risque moindre en matière de sécurité. Bien que les résidus contiennent de la radioactivité, ils ont une activité faible par masse et ne sont ainsi pas aussi facilement distribués : ils ne seraient pas aussi efficaces que d'autres sources.

L'établissement et le maintien d'un bon régime de protection physique pour les matières nucléaires incombe à l'État. Il est de sa responsabilité de créer le cadre de travail législatif et réglementaire, de désigner les autorités compétentes, de délivrer l'enseignement et la formation, d'établir les responsabilités et d'évaluer les menaces à la sécurité nationale. Les mesures de garantie de l'AIEA constituent également une base en matière de sécurité nucléaire puisque le fait de confirmer que les matières sont utilisées uniquement aux fins prévues contribue à la prévention d'actes illégaux. L'AIEA surveille et vérifie toutes les sources et les matières fissiles spéciales dans les pays sous garantie de l'Agence. En vertu d'un protocole supplémentaire, un État est requis de fournir de plus amples informations à l'AIEA concernant tous les aspects de ses activités liées au cycle du combustible nucléaire, y compris l'extraction de l'uranium.

Les exploitants de mine sont tenus de prendre des mesures qui rendent l'accès non autorisé aux matières radioactives aussi difficile que possible. Ces mesures sont basées sur des scénarios de risques et de menaces encourus et impliquent l'établissement de zones à accès restreint, l'installation de systèmes de détection contre les intrusions non autorisées, le développement de plans d'intervention pour contrer les actes de malveillance et la familiarisation des forces de réponse de l'État avec les sites. Une gestion efficace de la comptabilité dans l'exploitation de l'uranium est également importante, de façon à éviter de sous-estimer la production d'uranium et à faciliter la détection des menaces internes. L'utilisation de systèmes établis de mesure et d'enregistrement, la saisie automatisée des données ainsi que des responsabilités clairement définies, font tous partie d'un système de gestion efficace. L'opération la plus vulnérable dans l'exploitation de l'uranium est probablement le transport des matières nucléaires. Cependant, les concentrés d'uranium étant non fissiles, les problématiques de protection sont limitées et par conséquent, les exigences de sécurité sont généralement relativement faibles. Bien que les incidents liés à la perte ou au vol d'uranium aient été réduits de moitié depuis le début des années 1990, l'occurrence de quelques incidents chaque année indique que la sécurité et les mesures de protection dans les mines pourraient être renforcées.

10. **Le transfert de connaissances** représente une étape finale essentielle pour l'exploitant ou le responsable de projet qui met le site à disposition pour le programme d'entretien et de maintenance à long terme. L'objectif à long terme de l'exploitation moderne de l'uranium est de garantir qu'un site sur lequel ont lieu des activités d'extraction et de traitement restera stable et sûr à long terme, une fois déclassé et réhabilité. Afin d'assurer cette sûreté et stabilité à long terme, les générations futures doivent avoir pleinement connaissance de ce qui est localisé où, de la raison de ce choix et de ce qui doit être protégé ou entretenu, pour ne citer que quelques-unes des informations importantes nécessaires. Les documents clé qui résument l'exploitation et la réhabilitation du site, ainsi que la conception technique de fermeture et le programme de vérification du suivi, doivent être disponibles rapidement dans un lieu sûr. Toutes ces informations détaillées doivent être archivées dans un système de gestion de l'information susceptible d'être contrôlé par le gouvernement. Ceci se déroule une fois que la stabilité à long terme a été atteinte et confirmée par le programme de suivi post-réhabilitation, et une fois que l'approbation réglementaire a été obtenue à la suite d'une étape finale de consultation publique.

## Conclusions

Les expériences issues des mines modernes montrent que dans les pays ayant des exigences réglementaires appropriées ainsi qu'une agence de régulation avec du personnel qualifié, les compagnies qui réussissent développent des stratégies innovantes pour gérer tous les impacts potentiels de l'extraction et du traitement de l'uranium sur les travailleurs, les communautés et l'environnement. Le dialogue constant entre les principales parties prenantes – les communautés, la société minière et le gouvernement – se révèle être un facteur déterminant.

Les meilleures pratiques d'extraction de l'uranium sont très réglementées et très différentes, à plusieurs égards, des pratiques d'exploitation employées dans le passé. Aujourd'hui, le personnel travaillant dans les mines et les usines de traitement d'uranium est formé et protégé d'une exposition trop grande à la radioactivité grâce à la mise en place de pratiques de travail sûres associées à des systèmes de ventilation à grande capacité qui évacuent constamment les poussières radioactives des zones de travail à risque élevé, dans les opérations minières souterraines et les usines de traitement de l'uranium. Une planification et une surveillance de l'environnement tout au long du cycle de vie de la mine garantissent que la performance prévue du cycle de vie soit atteinte jusqu'à la période suivant le déclassement, en minimisant les effets sur l'environnement pour être en conformité avec les normes en vigueur et en évitant les impacts sur les populations locales. Ces pratiques modernes d'exploitation, grandement améliorées, sont le résultat conjugué des enseignements tirés des pratiques du passé, de la mise en place d'exigences réglementaires rigoureuses pour répondre aux attentes sociétales et de l'application réussie d'approches innovantes développées par les compagnies pour satisfaire aux exigences réglementaires, et dans de nombreux cas les dépasser.

En plus de fournir une vue d'ensemble des meilleures pratiques de production d'uranium pour le public intéressé, le rapport complet propose des recommandations sur les politiques de réglementation et de développement des mines pour les pays actuellement producteurs et pour ceux envisageant la production d'uranium pour la première fois. Pour les pays envisageant de débiter une activité d'extraction d'uranium, la mise en œuvre de tous les aspects définis dans le rapport doit être vue comme un objectif à long terme puisqu'il faut du temps pour développer la capacité nécessaire pour mettre en place la législation et les réglementations, ainsi que pour accumuler les ressources et l'expertise requises pour réglementer ces installations de manière efficace. Cependant, les éléments clé de la gestion du cycle de vie de la mine doivent être mis en place avant l'exploitation.

L'uranium est une ressource énergétique dont la demande va croître pendant les décennies à venir en raison du besoin de combustible pour le parc global de centrales nucléaires actuelles et en développement. De nouvelles mines seront nécessaires, et une partie de celles-ci seront dans des pays n'ayant jamais eu d'activité d'exploitation de l'uranium. Les principales parties prenantes auront un rôle important à jouer en facilitant le développement, l'exploitation et la fermeture en toute sécurité des opérations minières d'uranium d'une manière responsable sur le plan environnemental.



# L'extraction d'uranium aujourd'hui : perceptions et réalités

Les procédés d'extraction et de traitement de l'uranium ont évolué de façon significative au cours du développement de cette industrie. En comparant les meilleures pratiques d'aujourd'hui avec les procédés utilisés dans le passé, le rapport démontre qu'il est possible de mener une activité d'extraction d'uranium d'une manière qui protège le personnel, le public et l'environnement. Des pratiques modernes et innovantes combinées à une implémentation stricte des normes réglementaires permettent d'éviter les erreurs commises au début de l'histoire de l'industrie d'extraction d'uranium, quand l'objectif principal était de maximiser la production. Les meilleures pratiques actuelles visent à produire l'uranium d'une manière efficace et sûre avec un impact environnemental réduit, conforme aux normes en vigueur. Comme expliqué dans le rapport, la collecte de données de terrain, la surveillance de l'environnement et la consultation du public pendant tout le cycle de vie de la mine permettent de vérifier que cette installation fonctionne comme prévue, d'alerter rapidement en cas de risque d'impact néfaste sur l'environnement, et d'informer les parties prenantes des développements de l'activité. La planification de la fermeture de la mine avant même que l'autorisation de production ait été donnée, fait également partie des meilleures pratiques. Cela permet en effet de s'assurer que le terrain faisant l'objet du bail minier soit remis dans un état acceptable après la cessation des activités. Le rapport souligne l'importance de la formation et de l'équipement des ouvriers travaillant dans les mines, ainsi que le besoin de s'assurer que l'environnement de travail est suffisamment ventilé pour réduire au minimum l'exposition à la radioactivité et aux produits dangereux, et minimiser ainsi les impacts sur la santé.