



# Réaménagement de l'environnement des sites de production d'uranium



Développement de l'énergie nucléaire

# **Réaménagement de l'environnement des sites de production d'uranium**

**Rapport établi conjointement par  
l'Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire  
et  
l'Agence internationale de l'énergie atomique**

## **ORGANISATION DE COOPÉRATION ET DE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUES**

En vertu de l'article 1<sup>er</sup> de la Convention signée le 14 décembre 1960, à Paris, et entrée en vigueur le 30 septembre 1961, l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) a pour objectif de promouvoir des politiques visant :

- à réaliser la plus forte expansion de l'économie et de l'emploi et une progression du niveau de vie dans les pays Membres, tout en maintenant la stabilité financière, et à contribuer ainsi au développement de l'économie mondiale ;
- à contribuer à une saine expansion économique dans les pays Membres, ainsi que les pays non membres, en voie de développement économique ;
- à contribuer à l'expansion du commerce mondial sur une base multilatérale et non discriminatoire conformément aux obligations internationales.

Les pays Membres originaires de l'OCDE sont : l'Allemagne, l'Autriche, la Belgique, le Canada, le Danemark, l'Espagne, les États-Unis, la France, la Grèce, l'Irlande, l'Islande, l'Italie, le Luxembourg, la Norvège, les Pays-Bas, le Portugal, le Royaume-Uni, la Suède, la Suisse et la Turquie. Les pays suivants sont ultérieurement devenus Membres par adhésion aux dates indiquées ci-après : le Japon (28 avril 1964), la Finlande (28 janvier 1969), l'Australie (7 juin 1971), la Nouvelle-Zélande (29 mai 1973), le Mexique (18 mai 1994), la République tchèque (21 décembre 1995), la Hongrie (7 mai 1996), la Pologne (22 novembre 1996), la Corée (12 décembre 1996) et la République slovaque (14 décembre 2000). La Commission des Communautés européennes participe aux travaux de l'OCDE (article 13 de la Convention de l'OCDE).

### **L'AGENCE DE L'OCDE POUR L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE**

L'Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire (AEN) a été créée le 1<sup>er</sup> février 1958 sous le nom d'Agence européenne pour l'énergie nucléaire de l'OECE. Elle a pris sa dénomination actuelle le 20 avril 1972, lorsque le Japon est devenu son premier pays Membre de plein exercice non européen. L'Agence compte actuellement 27 pays Membres de l'OCDE : l'Allemagne, l'Australie, l'Autriche, la Belgique, le Canada, le Danemark, l'Espagne, les États-Unis, la Finlande, la France, la Grèce, la Hongrie, l'Irlande, l'Islande, l'Italie, le Japon, le Luxembourg, le Mexique, la Norvège, les Pays-Bas, le Portugal, la République de Corée, la République tchèque, le Royaume-Uni, la Suède, la Suisse et la Turquie. La Commission des Communautés européennes participe également à ses travaux.

La mission de l'AEN est :

- d'aider ses pays Membres à maintenir et à approfondir, par l'intermédiaire de la coopération internationale, les bases scientifiques, technologiques et juridiques indispensables à une utilisation sûre, respectueuse de l'environnement et économique de l'énergie nucléaire à des fins pacifiques ; et
- de fournir des évaluations faisant autorité et de dégager des convergences de vues sur des questions importantes qui serviront aux gouvernements à définir leur politique nucléaire, et contribueront aux analyses plus générales des politiques réalisées par l'OCDE concernant des aspects tels que l'énergie et le développement durable.

Les domaines de compétence de l'AEN comprennent la sûreté nucléaire et le régime des autorisations, la gestion des déchets radioactifs, la radioprotection, les sciences nucléaires, les aspects économiques et technologiques du cycle du combustible, le droit et la responsabilité nucléaires et l'information du public. La Banque de données de l'AEN procure aux pays participants des services scientifiques concernant les données nucléaires et les programmes de calcul.

Pour ces activités, ainsi que pour d'autres travaux connexes, l'AEN collabore étroitement avec l'Agence internationale de l'énergie atomique à Vienne, avec laquelle un Accord de coopération est en vigueur, ainsi qu'avec d'autres organisations internationales opérant dans le domaine de l'énergie nucléaire.

#### **© OCDE 2002**

Les permissions de reproduction partielle à usage non commercial ou destinée à une formation doivent être adressées au Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC), 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris, France. Tél. (33-1) 44 07 47 70. Fax (33-1) 46 34 67 19, pour tous les pays à l'exception des États-Unis. Aux États-Unis, l'autorisation doit être obtenue du Copyright Clearance Center, Service Client, (508)750-8400, 222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923 USA, ou CCC Online : <http://www.copyright.com/>. Toute autre demande d'autorisation ou de traduction totale ou partielle de cette publication doit être adressée aux Éditions de l'OCDE, 2, rue André-Pascal, 75775 Paris Cedex 16, France.

## **PRÉFACE**

Depuis le milieu des années 1960, l'Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire (AEN) et l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) préparent, de concert avec leurs membres, le rapport périodique intitulé *Uranium : Ressources, production et demande*. Plus connu sous le nom de « Livre rouge », ce rapport est publié par l'OCDE. Sa dix-huitième édition est parue en 2000.

En 1999, le Groupe conjoint AEN/AIEA sur l'uranium, qui élabore le « Livre rouge », a créé le Groupe de travail sur les aspects environnementaux de la production d'uranium dans le cadre du mandat élargi du Groupe conjoint AEN/AIEA sur l'uranium visant à encourager l'échange d'informations concernant les effets environnementaux de l'extraction et du traitement de l'uranium et les technologies de protection de l'environnement propres à ces activités.

Pour brosser une vue d'ensemble de la question, le Groupe de travail sur les aspects environnementaux de la production d'uranium a soumis un questionnaire aux pays et États Membres sur leurs activités en matière de réaménagement de l'environnement. Le Groupe a analysé les résultats de l'enquête, puis a regroupé en sections analytiques les questions les plus pertinentes liées au réaménagement de l'environnement des sites d'installations de production d'uranium. Cette analyse et les réponses présentées par chaque pays servent de fondement au présent rapport

## **Remerciements**

Le Groupe de travail et le Groupe conjoint AEN/AIEA sur l'uranium remercient tous les organismes (voir Annexe 2) qui ont collaboré au présent rapport en répondant au questionnaire qui leur a été adressé.



## TABLE DES MATIÈRES

Préface.....	3
Exposé de synthèse.....	7
1. Introduction.....	11
2. Caractérisation des sites .....	13
3. Déclassement, décontamination et démantèlement .....	33
4. Gestion des déchets.....	43
5. Réaménagement des installations de gestion des déchets.....	57
6. Restauration de la qualité de l'eau .....	65
7. Prise en charge et surveillance à long terme.....	99
8. Politiques et réglementation .....	107
9. Coûts et financement .....	117
Rapports nationaux	
Allemagne.....	137
Argentine .....	146
Australie.....	152
Brésil.....	169
Canada .....	175
Égypte.....	204
Espagne.....	208
États-Unis d'Amérique.....	213
Fédération de Russie.....	252
Finlande .....	264
France .....	266
Gabon.....	276
Hongrie .....	282
Japon.....	284
Kazakhstan.....	287
Ouzbékistan .....	292
Portugal.....	297
République tchèque .....	301
Roumanie.....	335
Suède .....	340
Ukraine .....	342
Viêt-nam .....	347

## Annexes

1.	Membres du Groupe de travail conjoint AEN/AIEA .....	351
2.	Liste des organismes ayant contribué au présent rapport.....	355
3.	Glossaire .....	357

## Liste des tableaux

2.1	Teneur moyenne en uranium et en certains autres éléments chimiques des résidus et des roches de la zone de la mine de Cunha Baixa .....	28
2.2	Teneur moyenne en uranium et en certains autres éléments chimiques des sédiments fluviaux de la zone de la mine de Cunha Baixa .....	28
2.3	Teneur moyenne en uranium et en certains autres éléments à l'état de traces dans les sols alluviaux autour de la mine de Cunha Baixa.....	29
2.4	Valeurs moyennes de certains paramètres hydrochimiques dans les eaux souterraines autour de la mine de Cunha Baixa .....	29
2.5	Valeurs moyennes de certains paramètres hydrochimiques dans les trous de sondage et les puits d'eau soumis à l'influence de la mine de Cunha Baixa .....	30
6.1	Exemples de limites nationales de concentration des effluents .....	67
6.2	Concentrations approximatives de certains solutés pendant la saison humide dans le bassin de décantation N°4 de la mine d'uranium de Ranger et dans les eaux du fond naturel régional du ruisseau Magela .....	77
6.3	Données analytiques moyennes pour l'ensemble des sites échantillonnés .....	78
6.4	Résultats de l'étude de réaménagement de Lodève, 1998 .....	82
6.5	Qualité de l'eau à l'usine de traitement des eaux de Lodève .....	84
6.6	Concentrations de contaminants dans les eaux d'exhaure brutes et traitées à Schlema-Alberoda.....	86
6.7	Caractéristiques moyennes des aquifères à l'intérieur du site de LIS.....	90
6.8	Caractéristiques moyennes des aquifères à l'intérieur de l'auréole des solutions résiduelles .....	91
6.9	Données sur les radionucléides et paramètres critiques .....	92
9.1	Coûts de déclassement et de réaménagement de certaines mines .....	122
9.2	Coûts de déclassement et de réaménagement de certaines usines de traitement du minerai .....	124
9.3	Coûts de déclassement et de réaménagement de certains complexes intégrés.....	128
9.4	Coûts de déclassement et de réaménagement de certaines installations spéciales.....	130
9.5	Taux de change entre le dollar des États-Unis et les devises locales .....	131

## Liste des figures

6.1	Schéma fonctionnel du procédé du traitement à haute densité des boues (HDS) .....	71
6.2	Schéma fonctionnel du traitement des solutions fortement acides à Straz.....	81
6.3	Schéma fonctionnel de l'usine de traitement des eaux de Lodève.....	84
6.4	Schéma fonctionnel de l'usine de traitement des eaux de Schlema-Alberoda.....	85
6.5	Schéma fonctionnel du procédé de traitement des eaux à Ciudad Rodrigo .....	92

## EXPOSÉ DE SYNTHÈSE

Les programmes de réaménagement en cours ou prévus concernant les installations de production d'uranium dans le monde ont pour principal objectif d'établir des conditions stables à long terme permettant aux générations actuelles et futures d'utiliser ces sites en toute sécurité. Dans toute la mesure du possible, le plan de réaménagement vise à restaurer les conditions initiales d'environnement dans les zones atteintes ou à permettre une utilisation des sols qui soit durable à long terme.

On trouvera, dans le présent rapport, un résumé des aspects et pratiques les plus pertinents des programmes de réaménagement relatifs aux installations de production d'uranium, ainsi qu'un aperçu des activités et projets existant dans les pays qui ont participé à cette étude. Au total, 22 pays (soit 12 pays Membres de l'OCDE et 10 pays non-membres de l'OCDE) ont fourni des informations sur leurs activités de réaménagement passées, en cours et futures, de même que sur leurs politiques et réglementations gouvernementales.

Le réaménagement des installations de production d'uranium comprend des activités visant à restaurer diverses zones, notamment des mines, des usines de traitement du minerai, des installations de gestion des déchets, des bassins de décantation des résidus, ainsi que des ressources en sols et en eau. Dès l'origine du programme de réaménagement, les parties prenantes se mettent d'accord sur l'utilisation finale des sols sur le site. Tout est mis en œuvre pour faire en sorte que les attentes et les exigences des parties prenantes soient pleinement prises en compte. D'autre part, il faut aussi veiller à ce que le résultat escompté soit réalisable dans la pratique dans les limites des contraintes écologiques, économiques ou financières propres à chaque cas au moment de la planification ou dans un avenir prévisible. Les principes de la protection de l'environnement, du développement durable et de l'équité entre les générations doivent être appliqués à tous les stades du processus de réaménagement.

En règle générale, un programme de réaménagement prend en compte les considérations suivantes :

- Le réaménagement est exécuté dans le cadre de plans et de spécifications appropriés qui doivent être conformes aux lois, règlements et dispositions d'autorisation en vigueur et aux critères établis.
- Le réaménagement limite les incidences résiduelles au niveau le plus faible qu'il soit raisonnablement possible d'atteindre (principe ALARA). La plupart des pays ont défini un niveau acceptable d'incidence pour le public et l'environnement.
- Tous les contaminants résiduels sont convenablement confinés ou contrôlés aussi longtemps qu'il le faut. Plusieurs pays se sont dotés de règlements ou de lignes directrices applicables à la conception et à la construction des systèmes de confinement utilisés pour les contaminants.
- Les émissions de radon et de poussières radioactives sont correctement contrôlées et/ou confinées, et elles sont prises en compte dans les scénarios d'utilisation future des sols ou dans les plans d'aménagement du site.



- Toutes les ressources en eau, tant en surface qu'en souterrain, sont protégées contre la contamination jusqu'à des niveaux et à des distances appropriés.
- En vue de l'utilisation finale des sols, on procède à une évaluation des doses de rayonnement et des voies d'exposition des personnes susceptibles de résider ou de travailler sur le site ou de le visiter.
- Le site est réaménagé de telle façon que les besoins futurs d'entretien soient réduits au minimum dans toute la mesure du possible.
- L'accès du public au terrain et au site réaménagés est le moins limité possible.

Dans le présent rapport, les questions pertinentes sont examinées au titre des rubriques suivantes : caractérisation des sites ; décontamination, démantèlement et déclassement ; gestion des déchets ; restauration de la qualité de l'eau ; prise en charge et surveillance à long terme ; politiques et réglementation, ainsi que coûts et financement.

### **Critères, politiques et règlements en matière d'assainissement**

Comme les citoyens sont de plus en plus sensibilisés aux questions liées à la protection de l'environnement et à la santé en général, de nombreux pays ont adopté ou sont en train d'adopter des politiques visant à : améliorer et à renforcer la santé et la sûreté des travailleurs et du public ; la protection de l'environnement ; le développement durable au plan économique, social et écologique ; la participation du public à la prise de décision en matière d'environnement.

Les politiques et la législation ayant trait à l'industrie minière de l'uranium sont en général relativement complexes dans la plupart des pays. Elles font d'ordinaire intervenir des exigences, parfois antagonistes, empruntées à un certain nombre de domaines variés, comme le droit minier, le droit de l'environnement, la réglementation applicable aux déchets toxiques et/ou radioactifs, la radioprotection sur les lieux du travail, etc.

### **Analyse et gestion des risques**

Le réaménagement des installations d'extraction et de traitement du minerai d'uranium est une activité qui oblige à recourir à une analyse et à une gestion appropriées des risques à tous les stades du processus. Une gestion des risques environnementaux, en particulier, devrait être appliquée pour optimiser les résultats des travaux de réaménagement. Dans ce contexte, l'analyse des risques environnementaux est de très vaste portée et devrait considérer la collectivité avoisinante comme un élément de l'environnement, ce qui implique que les risques pour la santé deviennent partie intégrante de l'analyse des risques.

Il faut aussi tenir compte, dans l'analyse des risques et dans la gestion qui en découle, des risques classiques et radiologiques provenant de l'activité de réaménagement proprement dite, comme l'utilisation d'équipement lourd et le transport de matières contaminées entre les sites.

### **Caractérisation des sites**

Les programmes de réaménagement de l'environnement sont élaborés sur la base de la caractérisation du site avant et après exploitation. Cette caractérisation comprend le recueil de données sur les propriétés hydrologiques, climatologiques, géologiques, géotechniques et écologiques du site et de ses environs. Il convient également d'évaluer le type de méthodes d'extraction et de traitement du minerai employé au fil du temps, ainsi que les types de déchets produits.

Dans bien des cas, des collectivités de taille différente, pouvant aller de petits campements à de grandes villes, se sont développées en liaison avec les activités d'exploitation minière ou en sont devenues tributaires. L'arrêt de ces activités d'extraction et de traitement peut avoir des conséquences sociales notables pour ces collectivités et ces effets doivent être pris en compte dans la planification de l'ensemble du processus de réaménagement.

Pour mener le réaménagement à bonne fin, il est indispensable de recueillir et d'utiliser des données de caractérisation du site, et essentiel de pouvoir en disposer.

### **Déclassement, décontamination et démantèlement**

Compte tenu du plan convenu d'utilisation des sols, il faudra prendre une décision au sujet de l'utilisation future de l'infrastructure liée à la mine. Dans un programme de réaménagement, tous les bâtiments, usines, laboratoires, entrepôts de produits chimiques et autres, terrains d'aviation, etc. qui ne sont plus nécessaires doivent être déclassés et supprimés. Peut-être sera-t-il nécessaire de supprimer des routes, bien qu'elles soient souvent maintenues pour permettre au personnel de contrôle et de surveillance appelé à visiter le site après la fin des travaux d'y accéder et à la collectivité d'en faire usage. Plusieurs éléments d'une installation d'extraction et de traitement du minerai d'uranium sont susceptibles de se trouver sous le niveau du sol. Il s'agit notamment du chantier minier lui-même, des sous-sols, des installations de stockage, des dépôts d'explosifs, des concasseurs, des silos, des tunnels de service, des conduites de câbles, etc. Ces installations peuvent soit être laissées en souterrain et, éventuellement, remblayées, soit devoir être supprimées pour dégager le terrain en vue de nouveaux travaux en sous-sol.

Certains sites contaminés par la radioactivité doivent être décontaminés dans le cadre du processus de déclassement. Il est indispensable d'observer strictement, dans toute activité de décontamination, les règles et règlements visant la sûreté du public et des travailleurs. Les techniques de décontamination comprennent le décapage ou le défonçage au marteau piqueur, le sablage, le lavage et le nettoyage au jet d'eau à haute pression, le lessivage aux solvants chimiques, les peintures pelables, le traitement des eaux, etc.

### **Gestion des déchets**

Les activités minières engendrent des déchets de différents types qui nécessitent tous un mode de gestion approprié. Ces déchets comprennent aussi bien les résidus issus des travaux de traçage et provenant des premières excavations (par exemple, des matériaux du sol, des roches non minéralisées, des minerais présentant des niveaux de minéralisation non rentables ou des teneurs élevées en contaminants) que des déchets de traitement dont la majeure partie est constituée par des résidus des usines de concentration. Les déchets issus du traitement des eaux, ainsi que les résidus des procédés d'assainissement et de démantèlement, doivent aussi être gérés. Lors de la fermeture, il convient de déclasser, le cas échéant de réaménager les installations de gestion des déchets d'extraction et de traitement du minerai, afin d'assurer leur stabilité à long terme.

Les résidus des usines de concentration constituent une catégorie de déchets de traitement liés à la production d'uranium qui pose des problèmes particuliers, notamment en raison de leurs propriétés géomécaniques. Le confinement définitif de ces résidus est d'ordinaire l'aspect le plus important du réaménagement d'un site de mine d'uranium du point de vue du volume physique, des contaminants radiologiques et chimiques, ainsi que du risque pour l'homme et l'environnement.

## **Restauration de la qualité de l'eau**

L'eau est l'une des principales voies par lesquelles la contamination peut atteindre l'environnement par suite des activités d'extraction et de traitement du minerai d'uranium. Dans les opérations d'extraction, le dénoyage des mines en souterrain et à ciel ouvert pourrait produire des eaux contaminées par des matières radioactives ou autres. De l'eau contaminée pourrait aussi provenir du ruissellement de l'eau à la surface des tas de stériles et des tas de minerai, ainsi que des infiltrations à travers ceux-ci, tout comme des infiltrations à partir des bassins de décantation des résidus. Le réaménagement de l'environnement de toute installation de production d'uranium peut donc devoir comporter la restauration de la qualité des eaux souterraines et des eaux de surface et le traitement des effluents provenant des installations de gestion des déchets, telles que les bassins de décantation des résidus.

## **Prise en charge et surveillance à long terme**

La surveillance est désormais un principe régulièrement observé par l'industrie de l'uranium et les autorités gouvernementales des pays du monde entier, en vue de s'assurer et de vérifier que le public et l'environnement soient protégés contre les effets de la radioexposition tout au long de l'exploitation des installations liées à l'uranium, de même qu'après leur fermeture et leur déclassement. Lorsque des installations minières sont fermées, une surveillance peut être requise pendant une période prolongée afin de vérifier que les installations fermées n'entraînent pas une pollution radioactive ou non radioactive ou qu'elles n'ont pas d'autres effets nocifs sur la santé humaine ou l'environnement.

Le recours à la surveillance à long terme comme élément du plan de déclassement constitue, en fait, une forme de prise en charge ou de contrôle institutionnel à long terme, qui est souvent assumé par l'État. Les décisions en faveur de ces contrôles « actifs » ou « passifs » sont prises au stade de la planification. La période pendant laquelle la surveillance doit faire partie de ces contrôles est aussi une question qui doit être tranchée, tout comme celle de la fréquence des actions de surveillance, de la nature des mesures à effectuer et du type d'appareils à utiliser, des niveaux qui déclencheront une intervention, ainsi que de la personne responsable de la surveillance et des interventions en cas d'urgence.

## **Coûts et financement**

Le cadre réglementaire régissant l'exploitation minière moderne du minerai d'uranium dans de nombreux pays oblige les producteurs d'uranium à tenir compte des coûts de déclassement et de réaménagement, ainsi qu'à prendre les dispositions financières nécessaires pour couvrir ces coûts pendant la durée de vie utile des installations.

Bien que des indications de coûts soient données pour un certain nombre de pays dans le présent rapport, il est à noter qu'il n'a pas été possible de procéder à une comparaison significative des coûts entre les sites ou les pays faute de disposer de données et d'analyses détaillées complémentaires car ces coûts sont, dans une très large mesure, propres à chaque site. Les données de coûts mentionnées ont avant tout pour but de fournir un aperçu global et une base d'information aux responsables de la politique et aux décideurs, de manière à ce que ces coûts puissent être pris en compte et provisionnés à l'instar des autres coûts sociaux.

## 1. INTRODUCTION

La sensibilisation accrue aux questions touchant la santé humaine et l'environnement représente l'une des plus importantes priorités dans les réactions actuelles du public et les valeurs de la société à travers le monde. Ce phénomène découle des préoccupations engendrées par la dégradation de l'environnement au plan local imputable à des problèmes, tels que les embouteillages et la pollution atmosphérique, et des preuves croissantes des effets nocifs du développement industriel sur l'environnement à l'échelle planétaire (pluies acides, réchauffement de la planète, biodiversité, etc.). Cette évolution des valeurs sociétales trouve son expression dans la place accrue faite à ces questions au plan politique. Les problèmes liés à l'environnement et à la santé doivent être pris en compte dans le développement et la croissance de l'industrie. Les questions d'environnement constituent désormais un élément clé de l'action des pouvoirs publics dans de nombreux pays. La base législative dans ce domaine s'élargit de plus en plus, à l'échelon tant national qu'international, comme en témoigne le nombre croissant d'accords internationaux sur les questions d'environnement se posant à l'échelle planétaire.

Les préoccupations et priorités en matière d'environnement ont aussi des incidences sur l'industrie de l'extraction et du traitement du minerai d'uranium. Par exemple, il est probable que tous les nouveaux projets d'exploitation minière, quelle qu'en soit la localisation, seront soumis à des évaluations rigoureuses de leurs incidences sur l'environnement local et la santé publique. Dans de nombreux cas, des données détaillées complètes sur les mesures d'atténuation et les plans définitifs de réaménagement sont requises avant de pouvoir délivrer les autorisations de mise en valeur. De nombreux pays sont déjà en train d'appliquer des critères très stricts aux projets d'exploitation de l'uranium. Toutefois, l'une des principales préoccupations est de savoir comment faire observer les normes modernes de protection de l'environnement en des lieux où les pratiques minières antérieures n'étaient pas soumises aux niveaux actuels plus rigoureux de contrôle réglementaire, et ont laissé en héritage des sites et des installations abandonnés. Nombre de ces sites nécessitent une action corrective en vue de réduire les niveaux de risque pour les travailleurs, le public et l'environnement. Le réaménagement de l'environnement englobe notamment [1] :

- Le déclassement et la décontamination des structures redondantes ou désaffectées se trouvant sur un site.
- Le réaménagement de tous les sols et eaux contaminés.
- Le rétablissement du site à un niveau se prêtant à l'utilisation qu'il est prévu d'en faire.
- La gestion de tous les déchets qui en résultent.

Ce problème est particulièrement épineux dans le cas des pays actuellement confrontés à des difficultés économiques et où la charge du réaménagement incombe à l'État [2-4].

Les programmes de réaménagement des installations de production d'uranium en cours ou prévus dans de nombreux pays ont pour principal objectif d'établir des conditions stables à long terme permettant aux générations actuelles et futures d'utiliser ces sites en toute sécurité [5]. Dans tous les cas où cela est possible, le plan de réaménagement vise à restaurer les conditions initiales

d'environnement dans les zones atteintes ou à permettre une utilisation des sols qui soit durable à long terme et acceptable pour toutes les parties prenantes. Sinon, le but est une réduction maximale de la superficie à utilisation restreinte.

On trouvera, dans le présent rapport, un résumé des aspects et pratiques les plus pertinents des programmes de réaménagement relatifs aux installations de production d'uranium, ainsi qu'un aperçu des activités et projets existant dans les pays qui ont communiqué des informations. Ces aspects sont examinés dans le cadre des rubriques suivantes : caractérisation des sites, déclassement, décontamination et démantèlement, gestion des déchets, restauration de la qualité de l'eau, prise en charge et surveillance à long terme, politiques et réglementation, ainsi que coûts et financement. Les descriptifs nationaux des activités et plans de réaménagement comprennent des données relatives aux aspects jugés importants par les pays en cause et se fondent sur les réponses au questionnaire fournies par 22 pays (12 pays Membres de l'OCDE et 10 pays non-membres). Toutefois, les informations communiquées varient d'un pays à un autre tant par le champ couvert que par le niveau de détail, et l'on n'a pas cherché à normaliser les exposés en adoptant une présentation ou un style précis.

Ce rapport n'a pas pour but de formuler des recommandations ou des directives spécifiques, pas plus qu'il ne vise à présenter un panorama complet de toutes les activités liées au réaménagement de l'environnement.

### Références

- [1] Agence internationale de l'énergie atomique (1998), *Factors for Formulating a Strategy for Environmental Restoration*, IAEA-TECDOC-1032, Vienne.
- [2] Agence internationale de l'énergie atomique (1995), *Planning and Management of Uranium Mine and Mill Closures*, IAEA-TECDOC-824, Vienne.
- [3] Agence internationale de l'énergie atomique (1996), *Planning for Environmental Restoration of Radioactively Contaminated Sites in Central and Eastern Europe*, Vol. 1-3, IAEA-TECDOC-895, Vienne.
- [4] Agence internationale de l'énergie atomique (1997), *Planning for Environmental Restoration of Uranium Mining and Milling Sites in Central and Eastern Europe*, IAEA-TECDOC-982, Vienne.
- [5] Agence internationale de l'énergie atomique (1997), *A Review of Current Practices for the Close-Out of Uranium Mines and Mills*, IAEA-TECDOC-939, Vienne.

## 2. CARACTÉRISATION DES SITES

### Objectifs

La caractérisation du site représente la première étape obligée dans le réaménagement et la remise en état des anciennes installations de récupération de l'uranium. Des données multimédia et pluridisciplinaires sur les propriétés et conditions du site constituent la base des évaluations des incidences sur l'environnement, des analyses de risque, des plans de déclassement et/ou de fermeture, des programmes de réaménagement, de la prise en charge et de la surveillance à long terme, ainsi que le retour définitif à la normale du site. En général, afin de caractériser le site, on a besoin de données sur les conditions géologiques, radiologiques, opérationnelles, socio-économiques et liées à la biosphère. Le mieux serait que la collecte des données ait été entreprise avant le début des activités d'exploitation (données de point zéro) et se poursuive jusqu'à l'arrêt de l'exploitation. Bien que la planification de l'utilisation finale des sols puisse avoir un effet important sur le réaménagement, les programmes de réaménagement de l'environnement sont mis au point à partir de données de point zéro (si elles sont disponibles) et de la caractérisation du site après exploitation. Ils dépendent beaucoup du type de méthodes d'exploitation minière et de traitement du minerai utilisées, de même que des types de déchets produits. Pour mener les projets de réaménagement à bonne fin, il est donc indispensable de recueillir des données de caractérisation du site, d'en disposer et de les utiliser [1,2].

Avant d'entreprendre de recueillir des données, il convient de fixer des objectifs en matière de qualité des données et de mettre en place des procédures appropriées de contrôle et d'assurance de la qualité.

### Topographie du site minier et de la région contiguë

- Le cadre topographique, par exemple la question de savoir si le site se trouve dans une vallée ou à flanc de coteau, peut influencer de façon notable sur les incidences potentielles au plan de l'environnement. L'évaluation se fonde sur des cartes et plans topographiques à jour. À l'heure actuelle, il est possible de se procurer une grande partie de ces informations sous forme numérique et, en fait, les systèmes d'information géoréférencés constituent les meilleurs outils pour la gestion des données examinées dans les paragraphes suivants.
- L'identification de toutes les zones d'usines, de mines et de gestion des déchets, des infrastructures affectées et des zones affectées ou présumées affectées sur le site et hors du site.
- La délimitation administrative des zones protégées, telles que les réserves naturelles, les ressources en eaux souterraines, etc.

## **Géologie**

Parmi les caractéristiques géologiques requises pour un site figurent :

- Les données géologiques, géotechniques et géophysiques sur les propriétés des roches et des sols, y compris la stratigraphie, la tectonique et la sismicité, la lithologie, la sédimentologie et la minéralogie (en particulier la présence de minéraux acidogènes, tels que la pyrite ou d'éléments toxiques, tels que les métaux lourds, et de radionucléides).
- Un inventaire et une caractérisation de tous les matériaux disponibles à des fins de réaménagement, notamment des recouvrements destinés aux bassins de stockage des stériles ou des résidus.

## **Hydrogéologie, hydrogéochimie et climatologie**

La caractérisation climatologique, hydrogéologique et hydrogéochimique d'une zone est nécessaire pour déterminer l'impact de l'exploitation sur les masses d'eau situées dans la zone concernée. Les caractéristiques climatologiques et hydrogéologiques peuvent, à leur tour, influencer sur les décisions relatives aux stratégies et techniques de réaménagement.

La caractérisation climatique et hydrologique comprend en général les éléments suivants :

- Le régime annuel/mensuel des précipitations (pluie et neige).
- Le régime annuel/mensuel des températures.
- Le régime annuel/mensuel de la vitesse des vents et la fréquence des orages.
- La répartition des masses d'eau de surface, telles que les lacs, étangs, rivières et ruisseaux, leurs zones de captage, le régime de ruissellement de drainage et d'orage.
- Des données relatives à l'évapotranspiration et à la répartition des zones de réalimentation/décharge des eaux souterraines et les débits connexes.
- Des informations sur la portée et la fréquence des programmes de surveillance en cours.

La caractérisation hydrologique et hydrogéochimique d'une zone doit inclure :

- L'identification des aquifères, des couches imperméables et des profondeurs de la nappe phréatique.
- Les courbes de niveau des eaux souterraines, gradients hydrauliques, débits, perméabilités et transmissivités des eaux souterraines en tant que base d'un modèle hydrogéologique conceptuel.
- La qualité des eaux souterraines (pH, Eh, principaux cations/anions, éléments à l'état de traces, contaminants organiques, par exemple) et les propriétés connexes des aquifères, telles que les caractéristiques de sorption.
- La qualité des eaux de surface et la qualité des sédiments de fond respectifs.

- Les relevés des changements intervenus dans les caractéristiques des eaux de surface et des eaux souterraines au fil du temps et en particulier depuis le début de l'exploitation.
- Des informations sur la portée et la fréquence des programmes de surveillance en cours.

Dans certains cas, les renseignements disponibles sur l'état des eaux avant exploitation sont rares, d'où la difficulté à comprendre les changements découlant de la production d'uranium. Il est nécessaire de connaître la composition des eaux, y compris leurs contaminants, pour pouvoir déterminer l'effet que les agents complexants (hydroxyles, carbonates, ions sulfatés, composés organiques) pourraient avoir sur le comportement de radionucléides tels que l'uranium, le thorium et le radium en matière de migration (sorption, rétention) et de biodisponibilité.

Il est important de comprendre les bilans hydrologiques du site et des terrains avoisinants pour concevoir les installations de gestion des déchets et les programmes de réaménagement. La connaissance de la zone de captage occupée par la mine de même que l'identification des exutoires en surface et en souterrain sont primordiales, en particulier pour comprendre la migration des contaminants dans l'environnement, où les voies de transfert par l'eau jouent un rôle dominant. Dans le cas de mines exploitées par lixiviation *in situ* (LIS) ou par lixiviation en tas (LET), les données sur les eaux de surface et souterraines sont essentielles. Les analyses d'échantillons d'eau prélevés à partir du ruissellement de surface, de puits et de piézomètres sur le site de la mine, à sa périphérie et dans des zones où le fond naturel n'est pas modifié fournissent une mesure directe de l'étendue de la contamination et orienteront le choix des mesures nécessaires pour réaménager le site.

La législation et la réglementation de chaque pays permettront de déterminer plus aisément l'eau contaminée (concentrations de polluants) et dans quelle mesure cette dernière doit être épurée. L'étude de cas de la mine de Cunha Baixa, au Portugal, qui figure à la fin du présent chapitre, montre comment des études hydrogéologiques et géochimiques préliminaires peuvent faciliter les efforts futurs de caractérisation du site.

En règle générale, ces informations servent à élaborer un modèle hydraulique informatisé du site et de la zone contiguë. Ces modèles sont utilisés aussi bien pendant la phase de planification et d'exploitation pour déduire les paramètres techniques pertinents et effectuer des analyses de risque, que pendant la phase de fermeture pour évaluer les incidences et l'effet des mesures d'atténuation.

## **Écologie**

Le réaménagement d'un site d'extraction et de traitement du minerai d'uranium exige en général que le système écologique local, notamment la flore et la faune, soit rétabli dans des conditions aussi proches que possible de celles du point zéro ou tout au moins dans un état viable du point de vue de l'environnement. Le système écologique nouvellement créé peut aussi devoir être compatible avec l'utilisation future projetée du site ou peut, à son tour, imposer des restrictions quant à son utilisation. La cartographie de la flore et de la faune constitue un élément type des évaluations des incidences sur l'environnement étayant les procédures d'autorisation et fournira les informations de point zéro.

La restauration du couvert végétal représentera vraisemblablement la principale activité liée au réaménagement écologique. Les facteurs susceptibles d'influer sur la réussite de cette restauration comprennent :

- La stabilité géotechnique et la résistance à l'érosion des pentes et talus.



- Les propriétés minéralogiques et granulométriques du substrat (déchets, matériaux de couverture), y compris la présence d'humus.
- La présence dans les sols de conditions entravant la croissance (comme la présence de métaux lourds, de fortes concentrations en sel ou de contaminants organiques, ou encore de valeurs de pH du sol trop élevées ou trop faibles, de gaz de sol toxiques) ou l'apport d'éléments nutritifs.
- Les conditions climatologiques et micro-climatiques propres au site.

Le réaménagement de l'habitat sera également guidé par des facteurs esthétiques visant à le fondre dans les zones réplantées. Le réinvestissement naturel du site par la flore et la faune constitue un mécanisme important que l'on pourra aussi favoriser activement.

## **Caractéristiques d'exploitation**

### *État avant l'exploitation*

Le développement d'un complexe minier peut modifier profondément la topographie, l'hydrologie et l'écologie d'un site. Comme les activités de réaménagement et de remise en état visent normalement à rétablir le site autant que possible dans l'état dans lequel il se trouvait avant l'exploitation minière, il conviendrait de recueillir des données sur l'état de l'environnement de l'exploitation avant d'entreprendre d'importantes activités sur le site. Ces mesures peuvent servir de référence au cours des travaux d'assainissement liés à la phase de déclassement et/ou de fermeture et pour les activités de contrôle et de surveillance après fermeture. Ces informations peuvent avoir été recueillies comme données d'entrée destinées aux évaluations des incidences sur l'environnement dans le cadre de la procédure de demande d'autorisation pour la plupart des mines modernes (après 1970, en général).

Lorsque les données de point zéro avant exploitation ne sont pas disponibles, comme c'est le cas pour de nombreuses installations anciennes, il est parfois possible d'obtenir des données appropriées en procédant à des mesures dans des zones à proximité immédiate qui n'ont pas été touchées par l'exploitation minière ou les installations de traitement du minerai. Toutefois, en extrapolant ces données au site, il importe de reconnaître que les conditions naturelles de point zéro peuvent varier notablement sur de courtes distances.

Le succès du réaménagement d'un complexe mine et usine de traitement peut être assuré dans les meilleures conditions si, dès le début de la planification du projet, toutes les opérations d'exploitation minière et de traitement du minerai sont programmées et exécutées de manière à satisfaire les prescriptions afférentes au réaménagement final du site [3]. Dans le cas contraire, le réaménagement entraînera d'ordinaire des efforts supplémentaires et sera plus coûteux. En général, on connaît les installations, structures, bâtiments, etc. à décontaminer et à démanteler, ainsi que les zones de gestion des déchets à fermer. Toutefois, les caractéristiques des bassins de décantation des résidus de traitement et des autres installations de gestion des déchets peuvent ou non être bien connues, selon l'époque à laquelle ces installations ont été construites et la nature des prescriptions réglementaires en vigueur à ce moment-là.

Une fois établies les prescriptions en matière de déclassement et/ou de fermeture, il conviendrait d'évaluer les données et les dossiers d'exploitation existants conjointement avec les données de caractérisation du site, en vue de déterminer lesquelles de ces données d'exploitation seront utiles.

## ***Exploitation minière***

Le processus de caractérisation doit prendre en compte le type de mine et la méthode d'exploitation utilisée. Parmi les aspects considérés figurent :

- Le type de mine : a-t-on employé un mode d'exploitation classique à ciel ouvert ou en souterrain, un procédé de lixiviation *in situ* (LIS) ou de lixiviation en gradins, ou encore un assortiment de deux ou plusieurs des méthodes susmentionnées ? Le type de mine peut avoir changé au fil du temps.
- L'agencement de la mine : structure de cette dernière, profondeur, type d'accès, nombre de niveaux, de puits, de tunnels, de galeries de captage, etc. et leur extension latérale telle qu'elle a été prévue lors des levés d'exploitation de la mine, dispositions en vue du dénoyage de la mine, nature du remblayage, méthode et degré de remblayage, nombre et emplacement des puits d'injection/extraction pour les opérations de LIS.
- Un inventaire de tous les dispositifs et installations en surface sur chaque site minier et des zones d'évacuation des déchets et débris et des bassins de stockage correspondants, ainsi que des plans et cartes y afférents.
- Les méthodes d'extraction utilisées pendant la durée de vie utile de la (des) mine(s) : travail aux explosifs, taille, excavation, lixiviation, etc. Les explosifs utilisés peuvent accroître les concentrations de nitrates et de composés organiques dans les eaux d'exhaure et les eaux souterraines. En ce qui concerne la LIS, l'usage de solutions acides ou alcalines peut entraîner une contamination, par des métaux, des eaux de surface et souterraines, si celles-ci ne pas correctement confinées. L'isolement défectueux de puits dans des mines exploitées par LIS peut avoir des incidences notables sur les eaux souterraines et favoriser la migration de polluants à l'extérieur de la zone minéralisée.
- Aspects géotechniques : stabilité des chantiers miniers souterrains, affaissement et tassement, stabilité des pentes et talus dans les mines à ciel ouvert, stabilité des bassins de stockage des stériles notamment, stabilité de tout remblayage aussi bien dans les mines à ciel ouvert que dans les mines souterraines.
- Les tonnages de production de la mine tout au long de sa durée de vie, les caractéristiques des corps minéralisés, telles que la taille, la minéralogie et la teneur, les contaminants potentiels connexes, les quantités de minerais en général et de minerais pauvres en particulier qui subsistent.
- Les quantités de déchets et de roches stériles produites, les quantités de minerai pauvre stockées, les volumes d'eaux d'exhaure rejetés, ainsi que les volumes et l'emplacement/évacuation des résidus de traitement comme les boues des bassins d'évaporation, les types de revêtements, les recouvrements et les systèmes de drainage, le cas échéant.
- La méthode utilisée pour traiter et rejeter les eaux d'exhaure et les autres effluents de la mine, l'évacuation des résidus solides de traitement des eaux.
- Le type et la séquence des opérations qu'implique la fermeture de la mine.
- L'historique du développement industriel général du site.

## ***Traitement du minerai***

La caractérisation des installations de traitement du minerai fait intervenir des données concernant :

- Les procédés de traitement du minerai employés (concassage, meulage, lixiviation en cuve, lixiviation en tas), les résidus et déchets qui en résultent, ainsi que toute matière utilisée, comme des acides, des solutions alcalines, des résines échangeuses d'ions et des agents de précipitation.
- Un inventaire de tous les systèmes, dispositifs et installations existant dans chaque usine et installation de gestion des déchets, ainsi que les plans et cartes y afférents ; des données sur leur évolution rétrospective ; des informations sur la méthode de transport et de livraison des minerais.
- Une description de toutes les zones et de leur implantation, ainsi que des catégories respectives de préoccupations liées à l'environnement, s'agissant notamment de la contamination radioactive et des déchets radioactifs, des substances et produits contrôlés et dangereux, ainsi que des déchets dangereux et spéciaux.
- Les méthodes de traitement des résidus et déchets, telles que la neutralisation, la floculation, le dénoyage, l'évaporation, notamment dans des bassins, de même que toute matière et tout agent utilisés pour ces procédés.
- Les moyens de stockage et d'évacuation des résidus, tels que cuves, bassins (de sédimentation), bassins de décantation des résidus, puits d'injection.
- Les quantités de résidus et de déchets par installation de stockage et d'évacuation, ainsi que les résidus se trouvant dans des installations non déclassées, comme les bassins d'évaporation.
- Les contaminations en surface et en souterrain provenant de ces activités auront été évaluées dans le cadre du processus de caractérisation du site, alors que les dangers pour la santé et l'environnement qui émanent des déchets et résidus seront évalués dans le cadre du processus d'évaluation des risques.

## ***Déchets***

Trois principaux types de déchets découlent de l'exploitation minière et du traitement du minerai : les résidus miniers, les résidus de traitement et les eaux usées. Chaque type de déchets fait l'objet d'une stratégie de gestion appropriée. Par conséquent, il faut disposer de données sur les tonnages et les volumes, la composition et les caractéristiques de chacun d'eux, ainsi que sur leur caractérisation minéralogique et géochimique, notamment les concentrations de radionucléides et autres contaminants. Les résidus et déchets issus de l'exploitation minière classique de l'uranium sont semblables à ceux provenant de l'exploitation de minerais autres que l'uranium. Dans le cas de l'exploitation et du traitement du minerai d'uranium, la contamination potentielle par les radionucléides du sol, des roches et des eaux, ainsi que les émanations de radon dans l'air ambiant, sont plus évidentes mais ne se limitent pas à ce type d'exploitation.

### *Stériles :*

Les méthodes de stockage et d'évacuation utilisées pour ces matériaux peuvent avoir des incidences directes sur l'environnement (production d'eaux d'exhaure acides et leurs effets sur les déchets) ainsi que sur la stabilité du site. Il est nécessaire d'obtenir des informations concernant la composition et les caractéristiques géochimiques des stériles, notamment la teneur des minéraux acidogènes (sulphures, tels que la pyrite), des métaux lourds (cuivre, cadmium, zinc) contenant des minéraux, et les minéraux contenant d'autres éléments (arsenic, sélénium, etc.) qui pourraient susciter des préoccupations. Les minéraux sulfurés sont à l'origine de l'acidification des eaux d'exhaure qui, à son tour, accroît la mobilisation des métaux lourds et autres éléments préoccupants provenant à la fois des roches stériles et des couches sous-jacentes.

### *Résidus :*

L'évacuation en surface des résidus peut avoir des répercussions sur l'environnement (les eaux) par l'intermédiaire du rejet des eaux interstitielles et des lixiviants acides contenant des métaux lourds et d'autres contaminants. En outre, il conviendrait de chercher à obtenir les relevés d'autres matériaux évacués dans des bassins de décantation des résidus, tels que les débris. Il y a lieu de signaler qu'en général les procédés de traitement du minerai ne suppriment pas la plus grande partie de la radioactivité qui n'est pas liée à l'uranium ; aussi une caractérisation radiologique s'impose-t-elle.

### *Résidus du traitement des eaux :*

Les résidus issus du traitement des mines exploitées par LIS et des effluents HL peuvent aussi avoir des incidences sur l'environnement ; c'est ainsi que les bassins d'évaporation peuvent contenir des niveaux non négligeables d'uranium résiduel, de radium et de métaux dissous, ou que des solides peuvent être en suspension dans l'eau et d'autres se déposer au fond du bassin de stockage. Parmi les autres techniques de traitement susceptibles de provoquer une contamination en surface ou en sous-sol figurent l'aspersion d'effluents sur des sols et l'injection dans des puits en profondeur. L'évaluation des dossiers concernant ces procédés contribue utilement à déterminer les incidences que la migration des radionucléides et autres polluants est susceptible d'avoir à l'avenir sur l'environnement.

## **Caractéristiques radiologiques**

### *Aperçu général*

Les incidences sur la santé sont liées aux diverses émissions émanant du site en question.

- La qualité des eaux de surface et souterraines peut influencer directement sur la santé humaine par l'intermédiaire des eaux de boisson et indirectement par l'irrigation des terrains agricoles ou l'alimentation en eau du bétail.
- La qualité de l'air autour du site (émission de poussières contaminées, émanations de radon, etc.) est susceptible d'influer directement sur les activités et la santé humaines par l'intermédiaire de l'inhalation.

En conséquence, il faut procéder à des levés du rayonnement gamma, alpha et bêta pour déterminer les caractéristiques radiologiques (rayonnement de fond) propres aux différents nucléides.

Comme cela a été souligné précédemment, des données de point zéro en matière d'environnement devraient être recueillies au cours de la phase préalable à l'exploitation d'une installation de mine et/ou d'usine de concentration. En fait, les informations pertinentes sont généralement recueillies en tant que données d'entrée pour l'évaluation des incidences sur l'environnement qui constitue désormais un élément clé de la procédure d'autorisation. Ces informations sont également requises pour déterminer les zones d'impact. La modélisation de la dispersion dans les eaux et dans l'air représentera donc un outil important pour l'évaluation et la gestion des incidences.

On trouvera plus loin dans ce chapitre, à titre d'étude de cas, une analyse des techniques de caractérisation des sites du point de vue du rayonnement utilisées aux États-Unis. Ces techniques mettent l'accent sur la méthodologie d'échantillonnage et de caractérisation aux différents stades du programme de réaménagement, qui vont de l'évaluation préliminaire à l'étude exécutée à l'appui du réaménagement et l'étude de l'état final.

### *Scénarios d'exposition et groupes critiques*

Bien que le personnel affecté au réaménagement soit certainement l'un des groupes les plus exposés (groupe « critique »), l'exposition de ces travailleurs sera réglementée et surveillée. Le véritable groupe critique devrait plutôt comprendre une partie de la population avoisinante qui risque le plus d'être exposée aux émissions radioactives provenant du site lui-même ou des activités de réaménagement. De tels groupes pourraient comprendre des personnes habitant :

- très près du site et qui sont soumises à une exposition directe à partir du site ;
- sous le vent qui transporte les poussières contaminées par la radioactivité et les émanations de radon à partir du site ou consommant des aliments contaminés par les retombées de poussières ;
- en aval du site et qui pourraient boire de l'eau ou consommer des aliments provenant du milieu aquatique situé en aval du site (poisson des lacs, par exemple) ou des plantes irriguées par de l'eau contaminée.

Lors de l'examen des niveaux d'exposition du groupe critique, il conviendrait de ne pas perdre de vue ce qui est en cause, à savoir le surcroît de dose par rapport au « fond naturel de rayonnement » dans la zone concernée. On calcule cette exposition supplémentaire selon un scénario réaliste reposant sur des données mesurées à l'endroit où vit cette population et après avoir procédé à des déductions fondées sur les mesures réalisées à la station de référence. Ce n'est qu'après avoir exécuté une analyse complète des voies de transfert et des risques potentiels que l'on peut déterminer le groupe le plus exposé. Pour cette analyse, le calcul de l'exposition potentielle sera fondé sur une combinaison des doses mesurées et estimées d'après les données recueillies soit auprès d'une station de référence régionale, soit, de préférence, sur le site et dans ses alentours avant le début des travaux de réaménagement et peut-être même avant le démarrage de l'exploitation de l'uranium. Il faudra probablement recourir à des travaux de modélisation pour compléter les calculs de dose, surtout à l'époque précédant le début des travaux.

Une fois ce travail entrepris, il est possible d'élaborer des plans de gestion appropriés en vue de réduire le risque pour le groupe critique, soit en éliminant, soit en réduisant au minimum les différentes expositions (radon, métaux lourds, rayonnement gamma, etc.). Dans ce contexte, on utilise souvent la notion de « traitement », plutôt que de gestion, du risque car elle permet de dissocier cette activité des autres processus globaux de gestion de l'environnement qui interviendront au cours des travaux de réaménagement.

Tout au long du programme de réaménagement, l'évaluation des risques devrait être mise à jour après chaque étape successive qui fournit des données importantes. La séquence « Planifier, Exécuter, Vérifier et Agir » devrait constituer le processus prédominant du système de gestion de l'environnement à ce stade des travaux. Un tel processus itératif garantira l'obtention de la solution optimale au stade final. Comme les risques particuliers en cause sont d'ordre radiologique, le processus d'évaluation doit aussi intégrer les principes ALARA.

À chaque étape importante du programme, il convient d'évaluer les travaux afin d'en vérifier la conformité avec les normes et règlements pertinents établis par les autorités réglementaires. De même, l'état d'avancement doit être évalué en regard des objectifs et finalités du programme global de réaménagement.

### **Caractéristiques socio-économiques**

Dans certaines collectivités, les activités minières représentent une source primordiale de revenus. La fermeture d'une mine peut déstabiliser une collectivité sur le plan social et économique, voire provoquer sa désertion. Il importe donc au plus haut point de planifier et d'évaluer à l'avance les conséquences potentielles. Des plans devraient être élaborés en vue d'atténuer les répercussions financières et sociales sur une collectivité.

En général, les aspects socio-économiques de la fermeture, du déclassement et du réaménagement des installations de production d'uranium constituent des éléments clés pour assurer la réussite du projet et sont aussi importants que les aspects scientifiques et techniques.

Les aspects socio-économiques font intervenir des variables telles que la structure démographique, les zones commerciales, les tendances de l'emploi et les débouchés, ainsi que les niveaux d'éducation et de formation. En outre, il est nécessaire d'évaluer les utilisations réelles et potentielles du sol, parallèlement aux restrictions ou atouts, tels que les sites présentant une valeur historique, archéologique, spirituelle ou religieuse ou encore une beauté naturelle. Les options en matière d'utilisation des sols peuvent également être prédéterminées par la législation, les accords et les plans en vigueur.

Les objectifs du déclassement et du réaménagement sont souvent fixés dans le cadre d'une procédure itérative conciliant l'acceptation et les attentes du public, la disponibilité de ressources socio-économiques, les prescriptions légales et la faisabilité technique.

### **Prescriptions légales**

Il convient de faire le point des textes législatifs et des prescriptions légales en vigueur au plan international, national, régional et local afin de déterminer leur pertinence et leur incidence éventuelle sur tous les aspects du réaménagement du site. Dans certains cas où les lois, règlements ou autres normes de contrôle n'existent pas ou sont contradictoires, il faut rechercher des moyens de déterminer ou d'obtenir les prescriptions applicables à chaque étape du processus de réaménagement. Faute d'en tenir compte dès le départ, il se peut que les activités du projet subissent de graves interruptions, que leur mise en œuvre soit retardée et qu'elle entraîne des coûts et des répercussions supplémentaires.

## Évaluation et gestion des risques

Il existe toute une gamme de risques émanant des sites d'extraction et de traitement du minerai et, en fait, de toute activité de réaménagement. Aussi le réaménagement des installations d'extraction et de traitement du minerai d'uranium exige-t-il une gestion appropriée des risques à tous les stades du processus. Ces risques, qui peuvent être d'ordre classique ou radiologique, comprennent d'ordinaire les suivants :

- Dommages causés à l'environnement.
- Risques environnementaux et professionnels pour la santé humaine.
- Risques financiers et économiques.
- Risques techniques.

La gestion optimisée des risques intègre tous ces aspects afin de veiller à ce que les activités de réaménagement aboutissent aux résultats souhaités. Dans ce contexte, l'analyse intégrée des risques est de très vaste portée et peut amener à considérer la collectivité comme un élément de l'environnement. Ainsi, les risques pour la santé deviennent partie intégrante de l'analyse des risques. Les programmes d'évaluation et de gestion des risques devraient se dérouler en plusieurs stades :

- Détermination de la portée des travaux
  - Évaluer d'un point de vue qualitatif les rejets, la migration et le devenir des contaminants. Il s'agit notamment de déterminer les contaminants qui présentent un risque pour les êtres humains et l'environnement, les récepteurs, les voies d'exposition, les effets et les dangers connus et potentiels, de sélectionner des indicateurs à étudier, ainsi que de spécifier les objectifs et la portée du problème en vue d'évaluer le site d'extraction ou de traitement du minerai d'uranium et de planifier son réaménagement.
- Évaluation des expositions
  - Mener des études méthodologiques sur le terrain et en laboratoire pour quantifier les rejets, la migration et le devenir des contaminants, caractériser les récepteurs et le site, y compris ses alentours, et mesurer ou estimer les concentrations et les doses aux points d'exposition. L'application de méthodes d'assurance et de contrôle de la qualité à ce stade offre un moyen de s'assurer que l'évaluation des risques reflète bien les conditions du site.
- Évaluation des effets sur l'environnement et les êtres humains
  - Déterminer l'impact des rejets réels et potentiels de contaminants sur le site. Utiliser la documentation, procéder s'il y a lieu à des tests de toxicité, apprécier les études exécutées sur le terrain et en laboratoire en vue de quantifier l'incorporation et la relation dose-effet des contaminants provenant du site.
- Caractérisation et évaluation des risques
  - À l'aide de modèles et de méthodes arrêtés d'un commun accord ou prescrits au plan national, déterminer et quantifier les nuisances actuelles du site, en intégrant les diverses caractérisations établies lors des phases antérieures des travaux. Évaluer également les nuisances futures du site au cas où il ne serait pas réaménagé. Lors de l'exécution de ces travaux, il conviendrait de procéder à une analyse des incertitudes afin de quantifier les points forts et les limitations de l'évaluation des risques, y compris la sensibilité de tout modèle mathématique utilisé et les incertitudes entachant les paramètres d'entrée.

- Objectifs et finalités du réaménagement
  - Établir les objectifs et finalités de la décontamination et du réaménagement du site, compte tenu des prescriptions réglementaires, normes et critères pertinents de protection de l’environnement et de la santé humaine. Prendre en considération les préoccupations exprimées par les collectivités humaines concernant le réaménagement du site, notamment la planification de l’utilisation future des sols et le contrôle institutionnel du site qui s’impose. En outre, définir les niveaux de risque admissibles pour la protection de la santé et de la sécurité des êtres humains et de l’environnement contre les rejets de contaminants provenant du site réaménagé.
- Analyse des autres solutions possibles en matière de réaménagement
  - Évaluer des solutions de rechange pour le réaménagement du site et déterminer si celles-ci peuvent satisfaire les objectifs et finalités du réaménagement. Il s’agit notamment de recourir à des études de sensibilité comportant des évaluations de risques afin de comparer les risques liés aux diverses options de réaménagement.
- Consultation du public
  - Cette consultation fournira des données d’entrée utiles pour choisir les solutions de rechange et les moyens en matière de réaménagement, en ce qui concerne en particulier les analyses effectuées et les parades potentielles (y compris la prise en compte des coûts du réaménagement), l’utilisation finale du site après son réaménagement, l’acceptabilité des risques encourus dans le cas des solutions de rechange, ainsi que la nécessité d’un entretien à l’avenir et d’une surveillance à long terme.
- Surveillance de l’exploitation et de l’entretien du site
  - Comme il est indiqué ci-après et ailleurs dans le présent rapport, les évaluations des risques continuent de jouer un rôle dans l’appréciation de la solution de rechange choisie pour le réaménagement par rapport aux critères initiaux applicables au réaménagement du site. Les résultats de la surveillance à long terme du comportement du point de vue de l’environnement fournissent des données d’entrée permettant d’actualiser l’analyse, en vue de déterminer s’il est nécessaire de procéder à un réaménagement plus poussé ou à d’autres interventions, ou si le réaménagement du site se déroule comme prévu.

Il est crucial que cette démarche analytique à l’égard de la gestion des risques soit intégrée dans la gestion globale du processus de réaménagement. Le processus d’analyse des risques est semblable à celui employé sur tout site présentant une contamination industrielle, sauf qu’il faut tenir compte, en outre, de la contamination radioactive et de l’analyse des risques correspondants pour l’environnement et la collectivité.

## **ÉTUDE DE CAS : États-Unis – Procédures élaborées par les agences gouvernementales des États-Unis pour les programmes de surveillance radiologique des sites et terrains contaminés**

### ***Démarche méthodologique***

Aux États-Unis, quatre agences gouvernementales, à savoir l’Agence pour la protection de l’environnement [*Environmental Protection Agency – EPA*], la Commission de la réglementation nucléaire [*Nuclear Regulatory Commission – NRC*], le Ministère de l’énergie [*Department of Energy – DOE*] et le Ministère de la défense [*Department of Defense – DOD*], ont élaboré de concert



un guide pour les études radiologiques de sites intitulé « *Multi-Agency Radiation Survey and Site Investigation Manual – MARSSIM* » (Manuel inter-agences d'études radiologiques et de recherches relatives aux sites) [4]. Ce manuel, qui peut être téléchargé directement sous forme de fichier électronique à partir du site <http://www.epa.gov/radiation/massim/filesfin.htm> sur l'Internet, propose une méthode détaillée étape par étape pour planifier l'étude de site, notamment des techniques en matière d'échantillonnage et d'instrumentation de même que de coûts. Il s'inspire du principe qu'un site destiné à être libéré en vue d'une réutilisation après décontamination doit apporter la preuve qu'il répond aux critères gouvernementaux ou autres en matière de libération. Ce manuel fixe certaines phases pour les travaux, traduisant d'abord les critères de libération en concentrations dérivées correspondantes de radioactivité dans le sol, grâce à la modélisation des voies d'exposition dans l'environnement. Il fournit aussi des informations sur la manière d'obtenir des données d'étude de site scientifiquement solides et justifiables sur les niveaux de contamination radioactive du sol, ainsi que sur les niveaux du fond naturel de rayonnement, par des techniques appropriées sur le terrain et en laboratoire. Il couvre l'étude des sites contaminés, allant des bâtiments jusqu'aux zones de plein champ. Vient ensuite une phase de décision au cours de laquelle on détermine si les données recueillies après le réaménagement montrent que le site est conforme au critère de libération, dans les limites d'un niveau acceptable d'incertitude, par l'application d'une règle de décision fondée sur les statistiques.

L'analyse des méthodes d'étude figurant ci-dessous est tirée d'une façon générale de ce guide. Les dispositifs d'échantillonnage de la contamination radioactive peuvent aussi s'appliquer à la contamination due aux métaux ou à d'autres polluants présents sur le site.

### ***Évaluations rétrospectives des sites***

Que le site à évaluer soit un site minier, un site de distribution, un site de traitement, une usine de concentration ou un site de résidus de traitement, la possibilité demeure que la contamination par les radionucléides s'étende à la fois à l'ensemble du site et au-delà de ses limites matérielles. Des études préliminaires du site peuvent servir à déterminer l'étendue de la présence et des déplacements des rayonnements tant à l'intérieur qu'à l'extérieur de ces limites, les milieux touchés (sol, eau, air, bâtiments et matériel), ainsi qu'à établir les niveaux du fond de rayonnement sur des sites qui ne sont pas touchés par les activités de production d'uranium, notamment dans des endroits où des stériles ont été réutilisés comme matériaux de construction.

Les réglementations nationales des États-Unis déterminent comment les niveaux du fond de rayonnement doivent être pris en compte pour décider de la portée et de l'importance du réaménagement du site. Ces indications permettent de savoir si un site réaménagé doit faire l'objet de restrictions visant certaines utilisations ou peut être libéré en vue d'un usage général de la part du public. La définition du fond de rayonnement constitue une étape importante dans le réaménagement du site, car de nombreuses prescriptions relatives à la décontamination sont fondées soit sur un retour aux niveaux du fond de rayonnement, soit sur une certaine valeur en sus de ce fond. Toute zone de référence en matière de fond de rayonnement du site devait avoir des caractéristiques physiques, chimiques, géologiques, radiologiques et biologiques semblables à celles de l'unité étudiée, mais ne devrait pas nécessairement en faire partie (autrement dit, être située sur le terrain du site de récupération de l'uranium). Des tests statistiques devraient être menés afin de vérifier qu'une référence particulière en matière de fond de rayonnement convient pour une étude.

Dans certains cas, les données d'origine du programme de surveillance radiologique sont disponibles pour le site d'exploitation de l'uranium et peuvent servir de point de comparaison avec les niveaux les plus récents de rayonnement, mais cela se produit rarement. Pour établir un point zéro, les examens de documents de caractère rétrospectif sur l'exploitation, les autorisations relatives aux

rayonnements si elles ont été délivrées, les cartes, les photographies aériennes ou prises par satellite, les dossiers d'exploration et le courrier de l'installation de production d'uranium peuvent fournir des indications et une documentation quant à l'étendue géographique des transferts, par l'homme, de minerais bruts, de produits et de déchets et, parfois, des données relatives au fond de rayonnement. Des cartes géologiques et topographiques, si elles sont disponibles, fourniront aussi des informations sur la dispersion éventuelle de polluants à travers un site.

### *Études exploratoires*

L'étude exploratoire a pour objet de compléter l'évaluation rétrospective du site. La planification de cette étude implique de procéder à un examen de l'évaluation rétrospective du site afin de déterminer le niveau de décontamination radioactive approprié pour le site, et à un nombre restreint de balayages des rayonnements en surface, de mesures de l'activité en surface et de prélèvements d'échantillons (frottis, sol, eau, végétaux, peinture, matériaux de construction, matériaux souterrains). Ces mesures des rayonnements sont utilisées pour examiner les zones susceptibles de présenter une radioactivité résiduelle. Tout échantillon prélevé dans le cadre d'une étude exploratoire devrait être soumis à des procédures de traçabilité des échantillons, comprenant notamment une chaîne de prise en charge pour l'assurance et le contrôle de la qualité.

Sur la base du classement de la zone en fonction de sa contamination potentielle un quadrillage 10 m x 20 m peut être suffisant pour définir les emplacements étudiés moyennant un effort raisonnable. Quant aux zones que l'on présume ou que l'on sait généralement exemptes de rayonnements, les grilles peuvent comporter des espacements plus importants de 20 à 50 m, par exemple. Ces grilles peuvent être matérialisées par des lignes tracées à la craie ou à la peinture ou par des piquets. Le recours à la technique fondée sur le système de positionnement global par satellite (système GPS) peut fournir d'autres données d'enregistrement des sites d'échantillonnage.

### *Études de caractérisation*

Des études de ce type sont menées en vue d'atteindre divers objectifs, notamment : déterminer la nature et l'étendue de la contamination ; évaluer les solutions de rechange et les technologies en matière de réaménagement ; obtenir des données d'entrée pour les analyses des voies d'exposition, y compris les évaluations de risques et de doses ; estimer les incidences sur la santé et la sécurité des travailleurs et du public compte tenu du processus de réaménagement ; mettre au point la conception de l'étude de l'état final ; et déterminer les mesures correctives finales applicables au site. La conception de l'étude devrait reposer sur des objectifs spécifiques de qualité des données en ce qui concerne les informations à recueillir et peut normalement être planifiée à l'aide de l'évaluation rétrospective du site et de l'étude exploratoire. Cette procédure garantit que les données recueillies aux fins des caractérisations sont adéquates en quantité et en qualité [5]. L'étude devrait fournir des informations sur les variations dans la répartition des contaminants dans la zone étudiée ; le nombre nécessaire de points de collecte des données peut être déterminé à l'aide de tests statistiques. Le choix des instruments d'étude et des techniques d'analyse devrait procéder d'une connaissance des objectifs de décontamination radioactive finale et des niveaux connus de contamination résiduelle. Des mesures de débit d'exposition peuvent s'avérer nécessaires pour protéger la santé et la sécurité professionnelles des membres de l'équipe chargée de l'étude.

Les examens des surfaces et des structures des bâtiments comprennent un balayage en surface, des mesures de l'activité en surface, des mesures de débit d'exposition et le prélèvement d'échantillons (par exemple frottis, terre sous les fondations, eau, peinture et matériaux de construction, notamment béton) qui peuvent être exécutés sur place de manière systématique et en ayant recours à un jugement professionnel.

Dans le cas des sols et des milieux en surface et en souterrain, les levés du territoire font appel à des techniques permettant de déterminer l'extension horizontale et verticale des concentrations de radionucléides dans le sol. Les mesures peuvent être obtenues soit par des prélèvements d'échantillons et des analyses en laboratoire, soit par spectrométrie gamma *in situ*. Les lieux de prélèvement des échantillons devraient être documentés par référence à des coordonnées (grille), comme cela est indiqué plus haut. D'ordinaire, une grille comporte des espacements de 10 m mais elle peut être assez souple pour s'adapter au site. Les emplacements des puits de surveillance des eaux souterraines devraient aussi être prévus et enregistrés. Les concentrations et sources de contaminants devraient être cartographiées pour montrer les rapports entre la contamination, les sources, les caractéristiques hydrogéologiques et les limites du site. Le prélèvement d'échantillons d'air pourrait aussi s'avérer nécessaire dans le cas des poussières radioactives et des émissions de radon. On pourrait également prélever des échantillons de végétaux et obtenir certaines indications sur l'absorption des radionucléides, mais la situation est susceptible de changer dès lors que le site aura été réaménagé.

La documentation de l'étude devrait fournir un relevé complet de l'état radiologique du site. Un rapport comprenant suffisamment de renseignements pour caractériser l'étendue de la contamination, y compris tous les milieux susceptibles d'être touchés, devrait être élaboré ; celui-ci pourra servir de fondement à l'examen des méthodes et des solutions de rechange à envisager pour décontaminer le site.

### ***Études à l'appui du réaménagement***

Une fois prise la décision sur les méthodes appropriées de décontamination et de réaménagement d'un site et entamé le processus proprement dit de réaménagement, il peut être utile de mener des études de support limitées pour déterminer l'efficacité de la méthode de réaménagement, établir le moment auquel un site est prêt à faire l'objet d'une étude de l'état final avant libération, et mettre à jour les estimations des paramètres propres au site à utiliser dans la planification de l'étude de l'état final. Une telle étude d'appui au réaménagement aide à contrôler dans quelle mesure la décontamination est efficace pour ramener les rayonnements résiduels à des niveaux acceptables ; cela permet de piloter la décontamination en temps réel.

### ***Études de l'état final***

Les études de l'état final ont pour objet de démontrer que la radioactivité résiduelle sur un site est conforme aux critères de libération prévus en vue d'une utilisation sans restriction ou, le cas échéant, pour une utilisation assortie de limitations spécifiées. Ces études fournissent des données visant à prouver que les paramètres radiologiques sur place ne dépassent pas les limites de concentration fixées pour la libération. Les tests statistiques offrent un moyen de choisir le nombre et l'emplacement des points de prélèvement d'échantillons sur le site. Un type de mesure radiologique (balayages en surface, par exemple) peut être suffisant pour démontrer qu'une décontamination ou une élimination ne sont pas nécessaires, bien qu'il soit possible que l'étude doive couvrir toute la superficie du territoire. Une étude exhaustive est recommandée dans le cas des superficies inférieures à 2 000 m<sup>2</sup>, tandis qu'une couverture comprise entre 10 et 100 % pourrait être indiquée dans le cas de sites plus vastes. Des études indépendantes de validation peuvent être exécutées par l'organisme réglementaire compétent afin de corroborer par des contrôles ponctuels l'étude de l'état final, lorsque les travaux de réaménagement sont menés par une tierce partie ou par la société responsable de la production d'uranium sur le site. La méthodologie d'échantillonnage pour l'étude de l'état final est décrite dans le chapitre 5 du Manuel MARSSIM.

## ÉTUDE DE CAS : Portugal – Évaluations des eaux de surface et souterraines exécutées en vue de la caractérisation préliminaire du site de la mine de Cunha Baixa et de ses environs

### *Historique du site*

L'Institut géologique et minier du Portugal [*Instituto Geológico e Mineiro – IGM*] mène actuellement un certain nombre d'études aux termes d'un contrat passé avec la Direction générale de l'environnement [*Direcção Geral do Ambiente – DGA*] qui ont pour objectif général de se renseigner sur les incidences sur l'environnement des mines abandonnées au Portugal. Ces études servent à établir les données préliminaires destinées à caractériser les sites avant les étapes ultérieures du réaménagement. L'étude de cas, dont il est rendu compte ci-après, est axée sur la mine de Cunha Baixa, située dans le comté de Mangualde, au centre du Portugal [6-9]. L'exploitation des minerais d'uranium au Portugal est exclusivement assurée par l'Entreprise nationale de l'uranium [*Empresa Nacional de Urânio – ENU*] qui possède toutes les mines du pays, qu'elles soient en exploitation ou déclassées. De plus, l'ENU procède aussi aux évaluations en matière d'environnement et au réaménagement de ces mines après leur fermeture, notamment à leur surveillance.

Le gisement de Cunha Baixa est constitué par des filons de quartz à brèches en remplissage de deux fractures principales situées à N 40°E et N 70°O [10]. L'uranium a été exploité dans la mine de Cunha Baixa pendant une trentaine d'années. Au cours de la période 1967-1983, on a utilisé des méthodes d'exploitation souterraine en gradins mais, par la suite (de 1984 à 1991), on a adopté des procédés de lixiviation chimique *in situ* à l'aide d'acide sulfurique. Au total, quelque 484 000 tonnes de minerai d'une teneur moyenne en  $U_3O_8$  de 0,186 % ont été produites. L'exploitation minière a aussi généré plus de 1 million de tonnes de stériles et de résidus, dont une partie a servi à remblayer une mine à ciel ouvert de 300 m sur 100 m (située juste au-dessus des chantiers souterrains de la mine de Cunha Baixa) et le reste a été déposé à proximité sous forme de résidus à grains grossiers [11]. À environ 1 km à l'ouest de la mine de Cunha Baixa, une autre mine à ciel ouvert, celle de Quinto do Bispo, est encore exploitée à l'heure actuelle. Les minerais pauvres qu'elle contient sont traités par des procédés de lixiviation analogues.

L'eau qui subsiste à l'intérieur de la mine de Cunha Baixa est pompée en permanence par le puits principal et ramenée à la surface, où elle est chimiquement neutralisée à l'aide d'hydroxyde de calcium. Malgré cela, on observe une certaine contamination chimique provenant du drainage de la mine dans les eaux de surface, ainsi que dans certaines eaux souterraines. On ajoute du chlorure de baryum pour précipiter les quantités minimales de radium présentes dans l'eau. Les boues issues de ces opérations, composées principalement de gypse, sont déposées dans une ancienne mine à ciel ouvert située à proximité. La population locale utilise les eaux souterraines surtout à des fins d'irrigation et comme eau de boisson, et le terrain situé dans le voisinage des deux mines sert à des fins agricoles. La contamination de ces milieux par des résidus miniers constitue la principale cause de préoccupation de la population locale.

### *Analyses géochimiques*

Des analyses à éléments multiples (notamment par spectrométrie d'émission de plasma à courant continu et dosage à fluorescence X, complétés par une fluorimétrie dans le cas de l'uranium) ont été exécutées sur un certain nombre d'échantillons de sédiments fluviaux, de sols alluviaux, de roches et de résidus prélevés autour de la mine de Cunha Baixa. La teneur en éléments à l'état de traces des résidus miniers contraste fortement avec celle du soubassement géologique (principalement des roches granitiques). Ce phénomène est particulièrement manifeste dans le cas de l'uranium et, jusqu'à un

certain point, dans celui du zinc et du cuivre, ce qui reflète l'influence de la paragenèse minérale (minéraux uranifères et certains sulfures) qui semble marquer encore les résidus. Ces importants enrichissements en uranium (atteignant 318 ppm en moyenne dans les résidus) dénotent aussi un niveau correspondant à une anomalie par rapport à certains niveaux de référence établis pour l'uranium (par exemple, 2,7 ppm dans la croûte terrestre [12], 3,9 ppm dans les granites [13] et 9,5 ppm dans les granites du centre du Portugal [14]).

**Tableau 2.1. Teneur moyenne en uranium et en certains autres éléments chimiques des résidus et des roches de la zone de la mine de Cunha Baixa**  
(valeurs exprimées en ppm, sauf indication contraire)

Echantillon type	U <sub>t</sub>	U <sub>l</sub>	Cu	Zn	As	Ni	Co	V	Cr	F	Fe (%)	Mn	P
Résidus (n=13)	318	161	41	120	<20	18	13	18	186	840	2,4	367	1 000
Granite (n=4)	9,3	7,4	8	66	<20	8	<10	7	170	1 192	–	394	–

**Tableau 2.2. Teneur moyenne en uranium et en certains autres éléments chimiques des sédiments fluviaux de la zone de la mine de Cunha Baixa**  
(valeurs exprimées en ppm, sauf indication contraire)

Échantillon type	Paramètres statistiques	U <sub>t</sub>	U <sub>l</sub>	Cu	Zn	As	Ni	Co	V	Cr	F	Fe (%)	Mn	P
<b>1</b>	M	<b>118</b>	<b>75</b>	<b>67</b>	<b>130</b>	<b>20</b>	<b>14</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>110</b>	<b>900</b>	<b>2,2</b>	<b>689</b>	<b>1 131</b>
	ET	<b>262</b>	139	55	88	15,2	15,2	11,2	10,4	58	250,4	0,6	638	406
<b>2</b>	M	<b>478</b>	<b>235</b>	<b>77</b>	<b>224</b>	<b>26</b>	<b>19</b>	<b>22</b>	<b>26</b>	<b>150</b>	<b>895</b>	<b>2,7</b>	<b>912</b>	<b>1 658</b>
	ET	<b>461</b>	217	41	140	19,6	15	17	26	66,6	268,6	0,7	591	498
<b>3</b>	M	<b>14</b>	<b>10</b>	<b>32</b>	<b>86</b>	<b>11</b>	<b>6,4</b>	<b>5,5</b>	<b>7,1</b>	<b>80</b>	<b>630</b>	<b>1,9</b>	<b>430</b>	<b>994</b>
	ET	2,6	2,7	16,1	12,7	3,9	2,3	1,5	2,9	20,6	176,9	0,4	173	248
<b>4</b>	M+2*ET	<b>19</b>	<b>15</b>	<b>64</b>	<b>111</b>	<b>19</b>	<b>11</b>	<b>8</b>	<b>13</b>	<b>121</b>	<b>984</b>	<b>2,7</b>	<b>776</b>	<b>1 490</b>

M = Moyenne arithmétique      ET = Écart-type

- 1) données générales (n=61) à partir d'échantillonnages aléatoires dans la zone
- 2) valeurs se rapportant à des échantillons anormaux prélevés à proximité des sites miniers (n = 11)
- 3) valeurs se rapportant à des échantillons géochimiquement stériles (n = 11)
- 4) paramètre statistique de référence du fond naturel local (M + 2\*ET avec les données tirées de 3)

L'uranium s'est révélé être le seul élément géochimiquement anormal dans les sédiments fluviaux. On a décelé de fortes concentrations, soit pour l'uranium total (U<sub>t</sub>), soit pour les phases plus mobiles, à savoir l'uranium lixivié (U<sub>l</sub>). Parmi les autres métaux suscitant des préoccupations, seuls le zinc, le cuivre et le manganèse présentent par endroits de faibles anomalies. Du point de vue statistique, l'uranium semble indépendant de la plupart des autres éléments analysés.

Comme la décroissance de la famille des isotopes de l'uranium pouvait le laisser prévoir [15], on a constaté la présence de <sup>226</sup>Ra. Les analyses effectuées sur les échantillons d'alluvions, de sédiments fluviaux et de résidus ont donné des valeurs moyennes s'établissant respectivement à 444, 1 313 et 2 647 Bq.kg<sup>-1</sup>, prouvant ainsi la présence de radioactivité dans les zones les plus proches des mines. Les sols alluviaux prélevés à proximité (et en aval) des sites miniers sont légèrement contaminés par

l'uranium. Toutefois, des teneurs plus faibles ont été décelées dans les sols que dans les sédiments fluviatiles (avec des moyennes de 30 ppm d'U, contre 478 ppm dans les sédiments en aval, en raison de la haute solubilité de l'uranium dans une gamme étendue de pH) [16]. Selon Neves et coll. (1999) [17], ces sols sont acides avec une faible capacité d'échange d'ions à cause de leur faible teneur en matières organiques. L'utilisation agricole intensive de ces sols alluviaux, avec un recours fréquent aux engrais phosphatés, pourrait aussi contribuer à la lixiviation et à l'accumulation de l'uranium.

**Tableau 2.3. Teneur moyenne en uranium et en certains autres éléments à l'état de traces dans les sols alluviaux autour de la mine de Cunha Baixa**  
(valeurs exprimées en ppm, sauf indication contraire)

		U <sub>t</sub>	U <sub>l</sub>	Cu	Zn	As	Ni	Co	V	Cr	Fe (%)	Mn	P
1	M	<b>30</b>	<b>18</b>	<b>42</b>	<b>93</b>	<b>12</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>11</b>	<b>57</b>	<b>2</b>	<b>432</b>	<b>935</b>
	ET	33,7	11	24,4	15,4	6,3	–	1,2	3,4	15,7	0,3	83,5	249,6
2	M	<b>12</b>	<b>10</b>	<b>47</b>	<b>93</b>	<b>~10</b>	<b>~5</b>	<b>~5</b>	<b>8</b>	<b>62</b>	<b>1,8</b>	<b>381</b>	<b>1 098</b>
	ET	2,2	2,1	24,9	26,7	–	–	–	3,6	8,6	0,3	91,4	462,2

M = Moyenne arithmétique      1) échantillons alluviaux prélevés à proximité des chantiers de mine (n=55)  
ET = Ecart-type                      2) échantillons correspondant au fond naturel local

Les effets de la contamination semblent plus fortement marqués dans les sédiments fluviatiles prélevés au voisinage. La distribution spatiale de l'uranium le long du cours d'eau principal (et de ses affluents), qui subissent l'influence directe des deux mines, présente des anomalies chimiques persistantes qui se rencontrent à moins de 10 km de distance. Toutefois, ces anomalies se produisent irrégulièrement le long du cours d'eau principal, ce qui laisse supposer l'existence de processus chimiques et mécaniques superposés dans la distribution de l'uranium secondaire. Ce type de processus de dispersion secondaire de l'uranium a été signalé par d'autres chercheurs [18].

### Hydrochimie

Certains échantillons d'eaux souterraines prélevés dans les puits et les trous de sondage confirment l'existence d'importantes anomalies dans le cas des sulfates, du calcium et d'autres métaux, y compris de fortes concentrations d'uranium, ainsi que de manganèse, de zinc, de cobalt, de nickel, d'aluminium, de béryllium, d'yttrium et de strontium. Des concentrations de l'ordre de centaines de parties par milliard (ppb) (de parties par million (ppm) dans le cas des sulfates) sont courantes pour la plupart des éléments, en particulier pour ceux qui se trouvent dans la zone située en gros entre les deux sites. Les échantillons prélevés à des distances supérieures (approximativement entre 0,5 km au sud-est et 1 km au nord-ouest) présentent une moindre contamination et, en général, les concentrations sont moins contrastées pour la plupart des éléments.

**Tableau 2.4. Valeurs moyennes de certains paramètres hydrochimiques dans les eaux souterraines autour de la mine de Cunha Baixa**

Lieu de l'échantillonnage	pH	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ppm	Mn ppb	Zn ppb	Co ppb	Ni ppb	Al ppb	Be ppb	Y ppb	Sr ppb	U Ppb
Moins de 1 km au nord-ouest de la mine de Quinta Bispo	6,2	6,2	85	~9	<9	<29	<50	<5	<4	37	3,8
Moins de 1 km au sud-est de la mine de Cunha Baixa	6,0	17	29	93	42	<29	<50	<5	<4	66	21
Échantillons influencés par la mine	5,1	829	6 096	1 006	63	333	4 680	91	337	1 085	912

Les données chimiques laissent penser que la pollution imputable à l'exploitation minière s'est produite par suite d'infiltrations d'eaux souterraines résultant du procédé de lixiviation du minerai. En outre, une partie de la contamination est probablement due à l'uranium et aux autres métaux qui ont été libérés à partir des boues résiduelles et ont atteint ultérieurement les eaux souterraines. D'autre part, les échantillons d'eaux de surface prélevés dans les principaux écoulements du réseau de drainage ne comportent pas des aspects aussi critiques. À l'exception de quelques échantillons prélevés au voisinage immédiat des sites miniers, ils présentent en majorité des concentrations « normales » et des profils de dilution rapide en aval

### **Hydrogéologie**

Les granites constituent le principal type de roche du substratum géologique. Ces massifs sont fortement fracturés (failles, petites fractures, fissures, diaclases) par suite de l'action tectonique. Ces caractéristiques structurales, qui revêtent une importance particulière autour des gisements, augmentent sensiblement la perméabilité des roches et déterminent leur comportement hydraulique. Une étude hydrogéologique préliminaire a montré que les trous de sondage d'eau (aquifères plus profonds) plus proches des sites miniers paraissent se situer en général le long de certaines orientations de failles, faisant une prise sur des conduits d'eau préférentiels. Un enrichissement modéré en quelques métaux (zinc, cobalt et uranium) a été décelé dans de nombreux trous de sondage et, dans certains cas, jusqu'à une centaine de mètres de profondeur. En dehors de ces mécanismes de contrôle géologique et structural, les modifications des conditions d'oxydoréduction et de pH, les interactions entre phases (roche/eau) et la destruction microbienne des matières organiques peuvent aussi contribuer à la dispersion et à l'accumulation des métaux dans les eaux souterraines [19].

Par ailleurs, les aquifères plus proches de la surface se composent en général de roches poreuses plutôt que fracturées (granites altérés, dépôts sédimentaires). Dans ce contexte, ils présentent de plus forts enrichissements en sulfates et en la plupart des métaux analysés (manganèse, zinc, cobalt, nickel, aluminium, yttrium, strontium et uranium), ainsi que des valeurs de pH inférieures. Ces données sont récapitulées dans le tableau suivant.

**Tableau 2.5. Valeurs moyennes de certains paramètres hydrochimiques dans les trous de sondage et les puits d'eau soumis à l'influence de la mine de Cunha Baixa**

Échantillon type	<b>PH</b>	<b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></b> ppm	<b>Mn</b> ppb	<b>Zn</b> ppb	<b>Co</b> ppb	<b>Ni</b> ppb	<b>Al</b> ppb	<b>Be</b> ppb	<b>Y</b> ppb	<b>Sr</b> ppb	<b>U</b> ppb
Trous de sondage	6.4	4.5	65	334	11	<29	63	5	<4	27	190
Puits	4.7	1 065	7 819	1 199	49	424	5 998	116	433	1 388	1 118

L'interprétation combinée de la distribution des éléments dans les sédiments fluviatiles, les sols alluviaux, les roches, les eaux et les résidus peut faciliter l'élaboration d'un modèle associant les aspects géochimiques, hydrochimiques et hydrogéologiques de l'uranium dans la zone étudiée, qui est fortement influencée par la présence de « signatures d'exploitation minière ».

### **Résumé de l'étude de cas**

Cette étude pluridisciplinaire a permis de mettre en évidence l'existence d'un problème dû aux radionucléides et aux métaux toxiques, qui peut avoir des incidences sanitaires sur l'homme et l'environnement. Ce problème se trouve aggravé par le fait qu'il existe encore environ 1 million de tonnes de résidus dont la teneur moyenne résiduelle atteint 320 ppm d'U (auquel s'ajoute un peu de <sup>226</sup>Ra) dans la mine à ciel ouvert de Cunha Baixa.

La société minière déploie actuellement de gros efforts en vue d'atténuer et de contrôler les incidences possibles des opérations antérieures d'extraction. Toutefois, la nature toxique de l'uranium, du radium et d'autres éléments chimiques présentant une activité biologique importante (à savoir le béryllium, le strontium et l'yttrium) [20-22], alliée à des concentrations notables de divers autres éléments potentiellement nocifs (aluminium, manganèse, zinc et nickel) décelées dans les eaux, constitue un sujet de préoccupation. En outre, quelques zones alluviales situées à proximité et en aval des sites miniers, qui présentent une contamination par l'uranium, imposeront des restrictions à l'utilisation future des sols.

Les connaissances scientifiques relatives à la zone étudiée sont encore insuffisantes. À cet égard, des propositions ont déjà été formulées en vue de caractériser plus efficacement la nature et l'étendue de la contamination :

- Étude hydrogéologique détaillée du bassin hydrographique de la mine.
- Recherches minéralogiques et géochimiques (identification détaillée des minéraux uranifères existants ; partage de l'uranium dans chacune des différentes phases minéralogiques à l'aide de techniques chimiques d'extraction sélective des métaux).
- Études sur le niveau de risque imputable aux éléments les plus nocifs.
- Études épidémiologiques en vue d'examiner la gravité et la fréquence de certaines affections humaines dans la zone et leur corrélation possible avec des éléments toxiques.
- Surveillance de la qualité de l'eau avec une insistance particulière sur la présence de  $^{226}\text{Ra}$ .

À la suite de ces études, il conviendrait de mettre en place des mesures efficaces et soutenues visant à favoriser le réaménagement des sites miniers et des zones avoisinantes contaminées.

L'AIEA apporte également son concours à un projet de coopération technique mené avec l'Instituto Tecnológico e Nuclear, Sacavém (Lisbonne) en vue d'étudier les risques radiologiques découlant de ces mines.

## Références

- [1] Agence internationale de l'énergie atomique (1998), *Characterization of Radioactively Contaminated Sites for Remediation Purposes*, IAEA-TECDOC-1017, IAEA, Vienne.
- [2] Agence internationale de l'énergie atomique (2000), *Site Characterization Techniques used in Environmental Restoration*, IAEA-TECDOC-1148, IAEA, Vienne.
- [3] Agence internationale de l'énergie atomique (1998), *Guidebook on Good Practice in the Management of Uranium Mining and Milling Operations and the Preparation for their Closure*, IAEA-TECDOC-1059, Vienne.
- [4] US Environmental Protection Agency, US Nuclear Regulatory Agency, US Department of Energy, US Department of Defense (1997), *A Multi-Agency Radiation Survey and Site Investigations Manual*, US EPA 402-R-97-016, US Nuclear Regulatory Commission NUREG 1575, Washington, DC, États-Unis.
- [5] US Environmental Protection Agency (1994), *A Guidance for the Data Quality Objectives Process*, EPA/600/R-96/055, EPA QA/G-4, Final, EPA, Quality Assurance Management Staff, Washington, D.C., États-Unis.



- [6] Santos Oliveira J.M., Ávila P. F. (1998), *Géochimie de la zone de la mine de Cunha Baixa*, rapport interne de l'IGM, 57 p. (en portugais).
- [7] Pedrosa M.Y. et Lima Martins, H. (1999), *Hydrogéologie de la mine de Cunha Baixa*, rapport interne de l'IGM, 48 p. (en portugais).
- [8] Santos Oliveira J.M. (1997), *Quelques réflexions relatives au problème des risques pour l'environnement liés à l'exploitation minière*, Estudos, Notas e Trabalhos IGM, vol. 39, pp. 3-27 (en portugais).
- [9] Santos Oliveira J.M., Canto Machado M.J., Neves O., Matias M.J. (1999), *Incidences chimiques liées à une mine d'uranium du centre du Portugal*, Anais VII Congresso Brasileiro de Geoquímica, Porto Seguro, Brazil, pp. 170-173 (en portugais).
- [10] Portugal Ferreira M. (1971), *Gisements uranifères et de sulfures d'Au-Ag du nord du Portugal*, Livro Guia da Excursão N°5, I Congresso Hispano-Luso-Americano de Geologia Económica, Lisboa-Madrid, 81 p. (en portugais).
- [11] Guimas A. (1998), *Notes relatives aux mines de Cunha Baixa et de Quinta do Bispo*, document interne de l'E.N.U., 4 p. (en portugais).
- [12] Thornton I. [Ed.] (1983), *Applied Environmental Geochemistry*, Academic Press, London, 501 p.
- [13] Rose A.W., Hawkes H., Webb J.S. (1979), *Geochemistry in Mineral Exploration*, Academic Press, 2nd edition, London, 657 p.
- [14] Neves L.J.P.F., Pereira A.J., Godinho M.M., Matos Dias J.M., Stephens W.E. (1995), *L'hétérogénéité du fond naturel de rayonnement en tant que facteur de risque pour l'environnement*, Memórias N°4 Fac. Ciências Univ. Porto, pp. 195-196 (en portugais).
- [15] Goldschmidt V.M. (1958), *Geochemistry* (ed. by Alex Muir), Oxford, Clarendon Press, 730 pp.
- [16] Simpson P.R., Edmunds W.M., Breward N., Cook J.M., Flight D., Hall G.E.M., Lister T.R. (1993), *Geochemical mapping of stream water for environmental studies and mineral exploration in the UK*, J. Geochem. Exploration, 49, pp. 63-88.
- [17] Neves M.O., Matias M.J., Nobre A. et Graça R.C. (1999), *Application d'essais cinétiques et statiques aux eaux acides de la mine de Cunha Baixa*, Anais VII Congresso Brasileiro de Geoquímica, Porto Seguro, Brazil, pp. 141-143 (en portugais).
- [18] Noller B.N., Waters R.A., Woods P.H. (1997), *The role of biogeochemical processes in minimising uranium dispersion from a mine site*, J. Geochem. Exploration, 58, pp. 37-50.
- [19] Salomons W. (1995), *Environmental impact of metals derived from mining activities: Processes, predictions, prevention*, J. Geochem. Exploration, 52, pp. 5-23.
- [20] Landa E.R., Gray J.R. (1995), *US Geological Survey research on the environmental fate of uranium mining and milling wastes*, Environmental Geology, 26, pp. 19-31.
- [21] OSHA Regulated Hazardous Substances (1990), *Health, Toxicity, Economic and Technological Data*, vol. 2, pp. 1146-2294, Noyes Data Corporation, États-Unis.
- [22] Reimann C., Caritat P. (1998), *Chemical Elements in the Environment*, Springer-Verlag, 397 pp.

### 3. DÉCLASSEMENT, DÉCONTAMINATION ET DÉMANTÈLEMENT

#### **Déclassement**

Par déclassement, au sens où ce terme est utilisé par l'industrie nucléaire, on entend les actions entreprises à la fin de la durée de vie utile d'une installation en vue de mettre cette installation hors service par des moyens propres à assurer la santé et la sécurité des travailleurs affectés au déclassement et des personnes du public, ainsi que la protection de l'environnement [1]. Ces actions, qui devraient être en conformité avec les lois et réglementations nationales du pays concerné, pourraient comprendre aussi bien la simple fermeture de l'installation et l'exécution d'opérations minimales de retrait des matières radioactives, associée à la poursuite de l'entretien et de la surveillance, que l'élimination complète de la radioactivité résiduelle qui dépasse les niveaux acceptables pour une utilisation sans restriction de l'installation et de son site. Cette dernière condition, à savoir l'utilisation sans restriction, constitue l'objectif ultime de toutes les actions de déclassement menées dans les installations nucléaires mises hors service.

Le déclassement englobe toutes les activités visant à ramener méthodiquement un site d'extraction ou de traitement du minerai soit à son état ou usage antérieur, soit à un état ou usage viable déterminé d'un commun accord [2].

Une procédure formelle d'évaluation des risques contribuera à réduire les rayonnements et les autres risques pour la santé auxquels sont exposés les travailleurs et la population avoisinante par suite de l'activité de déclassement proprement dite.

Suivant l'objectif visé, la décontamination peut précéder le démantèlement ou être entreprise parallèlement à ce dernier, et intervenir à l'endroit et au moment où cela est nécessaire. Certains matériaux démantelés peuvent être classés dans la catégorie des déchets radioactifs et être évacués en conséquence sans faire l'objet d'une décontamination, alors que d'autres matériaux peuvent être libérés à des fins de réutilisation ou d'évacuation dans des décharges exemptes de risques. Les activités correspondantes sont examinées plus en détail dans les paragraphes qui suivent.

Un sujet particulier examiné ci-dessous de façon assez minutieuse est celui du déclassement des chantiers miniers en souterrain et à ciel ouvert (voir également [3,4]).

#### **Démantèlement**

##### *Considérations générales*

Toutes les opérations de démantèlement sont physiquement dangereuses et obligent donc à prêter une attention stricte à tous les règlements et codes de pratique applicables en matière de sécurité, notamment ceux qui traitent de la protection des travailleurs contre les produits chimiques dangereux et les risques dus aux rayonnements. En outre, l'utilisation de procédures d'assurance et de contrôle de

la qualité aura pour avantage d'assurer que chaque stade du programme est planifié de manière à satisfaire les prescriptions réglementaires. Elle contribuera aussi à éviter toute responsabilité potentielle à venir.

Au cours de la procédure de démantèlement, il peut s'avérer nécessaire de procéder à la décontamination de certaines structures ou de certains matériaux. En outre, le démantèlement s'effectuerait séparément dans la mesure du possible et conformément aux dispositions des lois nationales sur la réutilisation des déchets ou matériaux. Les rebuts et les moellons de béton peuvent être libérés à des fins de réutilisation, à condition que les critères de rejet de matières radioactives applicables en l'occurrence soient respectés. Sinon, il peut être nécessaire de procéder au remblayage sur les sites autorisés.

Avant de commencer à démanteler des installations, il est primordial d'avoir programmé, dans la mesure du possible, l'évacuation définitive des matériaux et leur déplacement. Par exemple, le volume des déchets issus du démantèlement/déclassement devrait être estimé autant que possible, afin de garantir que l'on disposera de suffisamment d'espace sur le site d'évacuation choisi [5,6].

### ***Infrastructure et installations en surface***

Suivant les plans d'utilisation future du site, tous les bâtiments, machines d'extraction, structures d'usines, laboratoires, entrepôts de produits chimiques et autres, terrains d'aviation, etc. peuvent devoir être supprimés dans le cadre du programme de déclassement. Peut-être sera-t-il nécessaire de supprimer aussi des routes, bien qu'elles soient souvent maintenues pour permettre l'accès du personnel de contrôle et de surveillance appelé à visiter le site une fois le programme de déclassement achevé.

Dans bien des cas, des collectivités de taille différente, pouvant aller de petits campements à de grandes villes, se sont développées en liaison avec les activités d'exploitation minière ou en sont devenues tributaires. L'arrêt de ces activités d'extraction et de traitement peut avoir des conséquences socio-économiques notables pour ces collectivités et ces effets devraient être pris en compte dans la planification de l'ensemble du processus de réaménagement. Il arrive souvent que l'infrastructure de la mine ou de l'usine de traitement antérieure soit devenue partie intégrante du développement régional. Il s'agit notamment des éléments suivants :

- Réseaux d'égout et stations de traitement des eaux usées.
- Systèmes d'alimentation en eau potable, y compris les puits, les stations de traitement et les canalisations.
- Centrales, lignes de transmission et postes de transformation.
- Conduites de gaz.
- Infrastructure de communications, comme les câbles téléphoniques, les tours de télévision/radiodiffusion, les tours de relais, etc.
- Décharges de résidus domestiques, décharges publiques, etc.
- Équipements de loisirs.

Dans ces cas, il sera envisagé de transférer à la collectivité locale la propriété et/ou la responsabilité en matière d'entretien [7]. Les éléments à transférer seraient alors soigneusement inspectés, afin de s'assurer qu'ils sont dans un état acceptable et qu'ils présentent les qualités et la sécurité requises pour l'utilisation projetée. Il est essentiel de faire appel à la collectivité locale et aux

autres parties prenantes pour déterminer les éléments d'infrastructure qui doivent être conservés. En outre, il peut être nécessaire d'élaborer à ce moment-là des plans pour l'organisation et le financement de l'entretien.

La suppression de l'infrastructure ou son transfert à la collectivité locale peut se dérouler par étapes successives au cours de la durée de vie (y compris le temps requis pour le déclassement) de l'installation d'extraction ou de traitement du minerai en vue de ramener son empreinte aux dimensions réellement nécessaires.

Il existe aussi un devoir de précaution de la part de l'organisme responsable du programme de réaménagement dans le cadre de ses obligations vis-à-vis de la collectivité qui prendra possession du site après l'achèvement des travaux. Ce devoir de précaution s'applique également à la population avoisinante et vise à assurer que le risque de responsabilité résiduelle subsistant sur le site est réduit au minimum.

### ***Installations et chantiers miniers en souterrain***

L'excavation d'espaces souterrains ou de puits à ciel ouvert dans le cadre des procédés d'extraction est inhérente à toute exploitation minière. En outre, certaines parties des installations et de l'infrastructure des mines et usines de traitement du minerai peuvent être placées en souterrain pour diverses raisons d'ordre technique ou liées à l'exploitation. En règle générale, ces éléments comprennent les conduites de gaz et d'eau, les canalisations électriques, les réseaux d'égouts, les tunnels de service et de communication, les réservoirs et soutes de combustible, les dépôts d'explosifs, les silos et autres installations de stockage en souterrain, etc.

Les chantiers de mines (d'uranium) présentent un certain nombre de types de dangers différents qui doivent être définis et évalués avant qu'un plan de déclassement exhaustif et pertinent puisse être élaboré et mis en œuvre. Les dangers peuvent être d'ordre physique, chimique ou radiologique. Parmi les dangers physiques figure le risque que des êtres humains ou du bétail tombent dans des excavations à ciel ouvert, des puits, des tunnels ou des ouvrages souterrains. Les puits de mine remplis d'eau peuvent comporter des risques supplémentaires dus aux rayonnements. Il se peut que la collectivité locale considère ces structures comme des endroits se prêtant aux loisirs aquatiques, comme des ressources à des fins agricoles, telles que l'irrigation et l'eau potable destinée à abreuver le bétail ou à des fins industrielles, telles que l'eau de procédé, la lutte contre les poussières, etc. De telles utilisations accroîtraient le risque dû aux rayonnements aux quels sont exposés la collectivité et l'environnement, en particulier dans les régions arides. Les questions liées à la restauration de la qualité des ressources en eau et des eaux d'exhaure acides sont examinées plus en détail dans la suite du présent rapport.

Comme dans le cas des installations en surface, il convient de déterminer celles qui seront retenues pour être utilisées par la suite. Lorsque les installations doivent être déclassées, il faut décider si elles doivent être démantelées ou si le remblayage et l'enfouissement offrent une solution suffisante et réalisable. Cette décision se fondera sur l'utilisation future prévue des sols et sur tout différend susceptible de découler des structures souterraines qui subsistent. Par exemple, ces structures souterraines risquent d'entraver sérieusement la construction des fondations de nouveaux bâtiments. Les règlements de construction locaux peuvent également prescrire le type d'action de déclassement à mener.

Dans la plupart des pays, les dispositions du droit minier régleront le déclassement des chantiers de mine. Cette remarque s'applique en particulier au scellement et au remblayage des puits et

d'autres types d'accès aux mines afin de prévenir un accès intempestif et délibéré. En règle générale, les dispositions du droit minier stipuleront également que l'effondrement de chantiers de mine en souterrain ne peut en aucun cas entraîner de dommages à la surface et que des précautions appropriées, telles que le remblayage, devront être prises à partir de l'évaluation faite par les ingénieurs des mines. Le plus souvent, ces évaluations font partie de l'exploitation normale de la mine et seraient complétées par un programme de surveillance de l'affaissement en surface. Ces programmes peuvent devoir être prolongés pendant une très longue période après le déclassement proprement dit de la mine afin de fournir des preuves dans les affaires de responsabilité.

De même, en ce qui concerne les mines à ciel ouvert, la stabilité des pentes, talus, etc. devra être confirmée et des mesures de remodelage appropriées devront être prises, le cas échéant. Le remblayage au moyen de résidus d'extraction ou de traitement du minerai pourrait être envisagé (voir ci-dessous).

Le retrait de matériaux réutilisables comme les structures en acier, les machines, etc. peut également faire partie du déclassement.

Dans tous les cas, il y aura lieu de vérifier les installations souterraines en vue de détecter la présence d'une contamination radiologique ou d'un autre type de contamination potentielle (lubrifiants, combustibles, huiles pour transformateur, explosifs, par exemple) et d'entreprendre, si besoin est, une décontamination.

## **Décontamination**

### ***Objectifs***

Les sites d'extraction et de traitement du minerai d'uranium et l'infrastructure connexe seront plus ou moins contaminés par des radionucléides, voire par d'autres éléments dangereux, tels que les métaux lourds et l'arsenic. Aussi un certain degré de décontamination peut-il s'imposer. L'un des objectifs principaux de la décontamination est de réduire l'étendue des zones à utilisation restreinte aux termes de la réglementation relative à la radioprotection.

Le niveau de contamination résiduelle que l'on peut laisser subsister dépend de l'utilisation future de l'infrastructure ou des matériaux et de la faisabilité technique de la décontamination. En ce qui concerne les matériaux contaminés par la radioactivité, les notions d'autorisation, d'exemption et d'exclusion du contrôle réglementaire en vertu des codes de pratique internationaux et nationaux peuvent aussi déterminer le niveau de décontamination requis. De même, ces considérations peuvent influencer sur l'aptitude d'un exploitant à recycler ou réutiliser des équipements ou matériaux décontaminés.

Si les équipements et matériaux doivent être réutilisés ailleurs, la décontamination s'impose en règle générale. Tout au long des divers types de travaux de décontamination, les règles et règlements relatifs à la sécurité des travailleurs doivent être rigoureusement respectés. La plupart du temps, les travailleurs seront qualifiés de personnel désigné conformément aux codes de pratique nationaux régissant les travailleurs sous irradiation. Il convient que l'exploitant détermine les éventuelles doses de rayonnement que les travailleurs et/ou les personnes du public sont susceptibles de recevoir par suite de telles activités et la manière dont ces doses seraient contrôlées.

La présence, dans de vieux bâtiments, de matériaux dangereux peut présenter des risques notables. Ces matériaux peuvent soit faire partie de la structure (amiante, par exemple), soit être associés à l'exploitation (fluides de transformateur, par exemple). Si tel est le cas, le projet de déclasser devra faire appel à des entrepreneurs spécialisés pour prendre en charge l'opération de décontamination, ainsi que tout déchet dangereux susceptible d'avoir été produit, selon la méthode requise et approuvée par la réglementation en vigueur. Les conditions de travail peuvent être telles qu'il soit nécessaire d'interrompre d'autres activités sur place jusqu'à ce que les matériaux dangereux aient été enlevés. Il faudra aussi élaborer et mettre en œuvre une méthode d'évacuation de ces matériaux qui soit acceptable pour les autorités réglementaires.

### ***Techniques de décontamination***

Les techniques de décontamination les plus couramment utilisées sont brièvement décrites dans les sections ci-après. Tout au long du programme de décontamination, il est primordial que des mesures appropriées soient prises pour qu'un régime de sûreté adéquat soit en place afin de protéger la santé et la sécurité des travailleurs. Il est probable que ces mesures seront énoncées dans les règlements en vigueur au plan local, national ou international ou dans tout regroupement de ceux-ci.

- Raclage ou défonçage au marteau-piqueur
  - Des composants et des machines peuvent présenter des incrustations de sédiments ou de dépôts radioactifs provenant de matières brutes, de produits chimiques et de réactifs industriels, de produits d'oxydation ou de réduction ou encore d'une combinaison de l'ensemble de ces facteurs ou de certains d'entre eux. Ces dépôts peuvent se trouver dans des cuves de décantation à contre-courant, des pachucas ou d'autres cuves à réaction, des réservoirs de stockage, des canalisations et des conteneurs, des calcinateurs, etc. Il arrive souvent que des dépôts épais soient enlevés par burinage et raclage à l'aide d'outils à main ou par le recours à des outils à moteur, comme des marteaux-piqueurs. Ces techniques peuvent aussi être utilisées pour enlever les matériaux de garniture contaminés de tels emplacements. Parmi ces matériaux de garniture peuvent figurer des revêtements à base de caoutchouc ou de matières plastiques ou, éventuellement, d'amiante, de brique ou de carreaux de céramique, etc. Les résidus provenant de ces activités doivent être gérés de manière appropriée en conformité avec les lois et les règlements locaux.
- Sablage ou grenailage
  - Dans de nombreux cas, le sablage ou le grenailage à haute pression peut être le meilleur moyen d'éliminer la contamination surfacique. Le matériau de décapage utilisé aujourd'hui est rarement du sable, mais plus souvent du grenat, de la zircone, de l'éponge ou des matériaux analogues, de la soude, de la neige carbonique, etc. Il y aura une réglementation locale régissant les bonnes pratiques requises pour faire fonctionner le matériel de sablage. L'évacuation définitive en toute sécurité du matériau de décapage usé et des contaminants connexes retirés au cours du processus de décapage revêt un intérêt primordial. Dans certains cas, les matériaux de nettoyage comme la zircone ou les métaux utilisés pour le grenailage et le sablage peuvent être naturellement radioactifs et cela doit être pris en compte dans les mesures mises en œuvre pour la protection de la santé, la sûreté et le réaménagement. Ces matériaux doivent être traités dans les mêmes conditions de sûreté que tous les autres déchets radioactifs engendrés au cours du processus de déclasser.

- Lavage et nettoyage au jet d'eau à haute pression
  - Certaines formes de contamination peuvent se prêter à une élimination par simple lavage avec ou sans addition de complexants, de détergents et de surfactifs. La collecte, la concentration et l'évacuation des eaux usées et des contaminants qu'elles contiennent sont les principales questions à résoudre. Ces déchets sont radioactifs et l'eau devra être traitée (voir ci-dessous) avant de pouvoir être rejetée dans l'environnement. Là encore, les déchets solides concentrés renfermant des contaminants devront être gérés comme d'autres déchets radioactifs par dépôt dans une enceinte de confinement appropriée. Les déchets peuvent être retirés des eaux usées en plusieurs étapes, notamment par filtrage suivi d'une évaporation, par échange d'ions, par précipitation ou par d'autres formes de traitement chimique.
  
- Lessivage aux solvants chimiques
  - Dans certains cas, la contamination peut être éliminée par un lessivage à l'aide de solvants industriels, qui sont également des décapants pour peinture usagée. L'application de cette procédure doit être compatible avec les règlements pertinents en matière de santé et de sécurité des travailleurs et les résidus de ce nettoyage doivent être gérés de façon appropriée en tant que déchets radioactifs. Il faut bien veiller à ce que les solvants, qu'ils soient propres ou contaminés, ne s'échappent pas dans l'environnement. De même, les résidus issus de ces activités constitueront des déchets radioactifs qu'il faudra gérer conformément aux lois et règlements en vigueur.
  
- Utilisation d'enduits pelables
  - Dans certains cas, la contamination de surface peut être éliminée à l'aide d'enduits pelables. Il s'agit de produits spéciaux (peintures, vernis, polymères, résines, etc.) qui sont appliqués sur la surface contaminée pour être retirés mécaniquement après une brève période de séchage. La contamination est enlevée avec l'enduit. Le retrait de l'enduit peut être facilité à l'aide de solvants ou d'autres produits chimiques.
  
- Traitement des eaux
  - Diverses techniques de décontamination exigent des eaux de procédé que l'on doit traiter en vue d'en éliminer les contaminants après utilisation. La méthode de traitement dépend du type de contaminant, ainsi que du volume et du débit d'eau. On peut évaporer d'importants volumes dans des bassins ou des réservoirs et collecter les résidus d'évaporation sous forme de boues ou de masse cristalline à gérer et à évacuer à l'instar des autres déchets radioactifs. Des volumes substantiels peuvent aussi être traités à l'aide de résines échangeuses d'ions, de postes d'osmose inverse ou de méthodes de filtration et de précipitation. L'utilisation de méthodes de précipitation pour éliminer les radionucléides à partir des solutions est bien connue, la plus courante étant la précipitation en masse à l'aide de chaux. Une telle précipitation éliminera de la solution la plupart des métaux lourds. On a recours également à d'autres méthodes propres à certains contaminants, comme l'emploi du chlorure de baryum pour éliminer le radium des eaux industrielles des usines de concentration d'uranium. Dans tous ces procédés de précipitation, le précipité doit être géré comme un déchet radioactif par l'application d'une stratégie d'évacuation appropriée. De même, les procédés par échange d'ions et osmose inverse produiront aussi des boues ou des précipités qui devront être gérés et évacués. On trouvera plus de détails sur le traitement des eaux et la gestion des résidus qui en découlent dans le chapitre 5.

### ***Traitement des équipements mobiles***

Tous les sites miniers et les installations de traitement disposent d'une grande variété d'équipements et de machines mobiles utilisés pour l'exploitation. Il peut s'agir aussi bien de camions, d'excavateurs et de chargeuses que de matériel de terrassement et de construction routière, d'appareils de forage, de camions-citernes, de pompes, de groupes électrogènes, de systèmes d'éclairage, etc. Ces installations ou équipements mobiles doivent tous faire l'objet d'une vérification approfondie afin de déceler la présence de contamination radioactive avant qu'ils ne soient autorisés à quitter le site. Il importe de mettre en place une méthode appropriée pour s'assurer que tous ces équipements ont été inventoriés, vérifiés et documentés, notamment par un certificat de propreté ou de décontamination, selon le cas. Les méthodes de décontamination employées doivent être propres au type d'équipement ainsi qu'à la nature et au niveau de contamination en cause. Un responsable de la sûreté radiologique pour le site en question devrait être chargé d'orienter d'une façon générale la procédure de documentation.

### ***Traitement des installations et équipements fixes***

Tout élément faisant partie d'une installation ou d'une infrastructure fixe, qui doit rester sur le site, devrait être décontaminé sur place de manière à atteindre le niveau requis de propreté. Toute installation qui ne peut être convenablement décontaminée pour des raisons techniques ou économiques devrait être démantelée et transférée vers un site d'évacuation approprié. Certains éléments d'installation pourront être démantelés pour être transportés et réutilisés hors du site. En ce qui concerne les installations mobiles, tous ces éléments devront être décontaminés selon une méthode approuvée, puis certifiés propres et exempts de contamination par un responsable de la sûreté radiologique, avant de pouvoir être transportés. Les méthodes de décontamination à appliquer peuvent être choisies parmi celles qui ont été énumérées ci-dessus.

### ***Protection des ressources en eau au cours du déclassement***

À tous les stades du processus de déclassement, de démantèlement et de décontamination, il faut prendre des mesures strictes de précaution pour éviter toute contamination des ressources en eau. Cette remarque s'applique aux ressources tant en eaux de surface qu'en eaux souterraines. Les quantités d'eau utilisées pour les travaux de décontamination devraient être recyclées à l'intérieur de circuits étanches dans toute la mesure du possible. Les bassins et les réservoirs devraient être munis de revêtements, si possible, pour empêcher les infiltrations d'atteindre les eaux souterraines. Les activités menées en surface devraient se limiter à des zones où toutes les eaux de ruissellement sont retenues afin d'éviter tout rejet vers l'environnement, sauf dans des conditions de surveillance et de contrôle stricts. Sur les sites écartés qui ont été fermés ou dont l'exploitation a cessé, et où il n'existe pas de surveillance active, le recours à des barrières perméables réactives peut être envisagé en tant que moyen supplémentaire de protéger les ressources en eau. La protection des ressources en eau est traitée plus en détail au chapitre 5.

### ***Déplacement d'équipements et d'installations, y compris revente***

Avant que toute installation ou équipement décontaminé soit vendu, déplacé hors du site après avoir été vendu ou retenu en vue d'être réutilisé, il est primordial d'en contrôler la contamination et d'en faire certifier la propreté, conformément aux lois, codes de pratique et règlements nationaux ou internationaux en vigueur. Les normes relatives au nettoyage et au transport en dehors du site seront



conformes aux normes internationales et seront également précisées dans chaque juridiction. Il peut aussi s'avérer nécessaire de voir si les conditions d'éventuels accords ou traités internationaux sur le transport transfrontière de déchets radioactifs ou non décontaminables sont applicables en l'occurrence [8,9].

### ***Gestion des matériaux non décontaminables***

Au cours du démantèlement, il est courant de trouver des éléments qui ne peuvent pas être décontaminés pour des raisons économiques ou techniques. Tout élément d'infrastructure, d'installation, de machine ou d'autre type d'équipement qui ne peut pas être décontaminé de manière à l'amener à un état satisfaisant devrait être placé dans une installation appropriée d'évacuation des déchets radioactifs. Il peut s'agir notamment de dalles de béton et de parpaings, de canalisations, de petites cuves à réaction semi-hermétiques, de corps de pompe, d'acier de construction, de revêtements de fours ou de calcinateurs, etc.

Les matériaux non décontaminables peuvent être enfouis soit dans un dépôt approprié et approuvé se trouvant hors du site, soit dans les parties de mines souterraines ou à ciel ouvert agréées à des fins d'évacuation. Cette dernière option présuppose que le fait de remettre dans une mine d'uranium classique des matériaux contaminés par la radioactivité a été autorisé par la stratégie convenue d'utilisation des sols et est conforme aux prescriptions en matière d'évaluation des doses de rayonnement.

### ***Transport de matériaux et équipements contaminés***

Il convient de ne pas oublier que le processus de déplacement de ces matériaux peut exiger l'emploi de matériel et de moyens de transport spécialisés et pourrait nécessiter un transport de ces matériaux sur des distances considérables, si l'on ne dispose pas au plan local d'un dépôt approprié. De telles activités peuvent majorer les coûts de l'opération, de façon peut-être substantielle. Il faut également tenir compte, dans l'évaluation globale des risques liés à l'activité de déclasserment, des risques supplémentaires pour la santé et la sûreté (risques radiologiques, exposition à des produits chimiques toxiques, lieux de travail, etc.) qui découlent de ce processus de déplacement. Une augmentation du trafic de poids lourds contribuera aussi à nuire à la population avoisinante.

L'AIEA, de concert avec d'autres organisations internationales, a élaboré un recueil exhaustif de lignes directrices et règlements applicables au transport des matières radioactives dans des conditions de sûreté [10,11]. Le transport transfrontière est régi aux termes d'accords bilatéraux et de diverses conventions internationales, telles que la Convention de Bâle [9].

## **Références**

- [1] Agence nucléaire de l'énergie atomique (1993), *Decontamination and Decommissioning of Nuclear Facilities – Results of a Co-Ordinated Research Programme, Phase II: 1989-1993*, IAEA-TECDOC-718, Vienne.
- [2] Agence nucléaire de l'énergie atomique (1994), *Decommissioning of Facilities for Mining and Milling of Radioactive Ores and Close-Out of Residues*, Technical Report Series N°362, IAEA, Vienne.

- [3] Agence nucléaire de l'énergie atomique (1997), *A Review of Current Practices for the Close-Out of Uranium Mines and Mills*, IAEA-TECDOC-939, Vienne.
- [4] Agence nucléaire de l'énergie atomique (1998), *Guidebook on Good Practice in the Management of Uranium Mining and Milling Operations and the Preparation for their Closure*, IAEA TECDOC-1059, Vienne.
- [5] Needham S., Waggitt P. (1998), *Planning Mine Closure and Stewardship in a World Heritage Area-Alligator Rivers Region, Northern Territory, Australia*, Proceedings of "The Long-term Stewardship Workshop", Denver, CO, 2-3 juin 1998, US Department of Energy, Grand Junction Office (CONF-980652).
- [6] Daroussin J.L. (2000), *French Uranium Mining Sites Remediation*, WISMUT 2000 Rehabilitation Workshop, Schlema, Allemagne, 11-14 juillet 2000, WISMUT, Chemnitz, Allemagne.
- [7] Waggitt P.W. (1999), *Restoration of the Nabarlek Uranium Mine and Mill Site, Australia*, Proceedings of Symposium "Restoration of Environments with Radioactive Residues" 29 novembre-3 décembre 1999, Arlington VA, États-Unis, publié par AIEA, Vienne, document SM-359/3D.1.
- [8] Agence nucléaire de l'énergie atomique (1990), *Code de bonne pratique sur le mouvement transfrontière international de déchets radioactifs*, IAEA, INFCIRC 386, Vienne, 13 novembre 1990.
- [9] Programme des Nations Unies pour l'environnement (1989), *Convention de Bâle sur le contrôle des mouvements transfrontières de déchets dangereux et de leur élimination*, PNUE, Genève, Suisse, 22 mars 1989.
- [10] Agence nucléaire de l'énergie atomique (1994), *Compliance Assurance for the Safe Transport of Radioactive Material (Practice)*, Collection Sécurité N°112, Vienne.
- [11] Agence nucléaire de l'énergie atomique (1994), *Quality Assurance for the Safe Transport of Radioactive Material (Practice)*, Collection Sécurité N°113, Vienne.

## 4. GESTION DES DÉCHETS

### Types de déchets

L'extraction et le traitement des minerais d'uranium engendrent toute une gamme de déchets et de matériaux résiduels, tels que des terres végétales, des morts-terrains, des roches non minéralisées, des minerais présentant des niveaux de minéralisation non rentables ou des teneurs élevées en contaminants, des résidus de traitement, des boues issues du traitement des eaux et de nombreux types différents de déchets de procédé. Le déclassement des installations d'extraction et de traitement du minerai et le réaménagement de l'environnement de ces sites engendrent des déchets supplémentaires de divers types et de nature différente qui doivent être correctement gérés.

### Description des déchets

#### *Stériles et morts-terrains*

Les premiers déchets produits par l'aménagement d'un site sont d'ordinaire les terres végétales (riches en produits organiques). Celles-ci sont produites au cours des opérations initiales de déblaiement et d'excavation du site et devraient être stockées séparément des autres matériaux excavés pour être utilisées au cours de la phase de restauration du couvert végétal dans le cadre du programme de réaménagement. De toute évidence, la zone à déblayer est en général plus petite dans le cas des mines en profondeur que dans celui des mines à ciel ouvert. Les conditions de stockage de ces terres végétales ne retiennent souvent guère l'attention. Si l'on veut que ces terres soient d'une quelconque utilité, elles doivent être soit utilisées le plus rapidement possible après avoir été excavées, soit gérées activement, afin que la flore et la faune associées, qui favorisent le développement de la végétation, conservent leur viabilité [1,2].

Dans les mines à ciel ouvert, la catégorie suivante de déchets engendrés est d'ordinaire constituée tout d'abord par les roches altérées, puis par d'autres roches stériles, qui sont souvent qualifiées dans leur ensemble de « morts-terrains ». Celles-ci représentent en général la plus grande partie de l'ensemble des matériaux devant être stockés ou évacués. Dans les mines en profondeur, la quantité de roches stériles à excaver est d'ordinaire plus faible et limitée aux puits, tunnels horizontaux, galeries de captage à ciel ouvert et autres voies analogues permettant d'accéder au minerai.

En général, les stériles désignent les déchets « propres », dont la teneur spécifique en uranium est inférieure à un niveau qui est parfois fixé par la loi. Par exemple, selon la législation en vigueur dans le Territoire du Nord de l'Australie, toute matière qui contient moins de 0,02 % d' $U_3O_8$  (= 0,017 % d'U) n'est pas considérée comme uranifère, tandis qu'aux États-Unis le seuil correspondant est fixé à 0,05 % (= 0,042 % d'U). En France, le Décret N°90-222 stipule que toute roche dont la teneur en uranium dépasse 0,03 % (300 ppm) doit être gérée d'une manière appropriée. Aux États-Unis, on a établi des lignes directrices visant les niveaux d'assainissement fixés comme objectifs pour les sols contaminés par la radioactivité, qui peuvent s'appliquer dans le cas du

réaménagement des mines et usines de traitement de l'uranium après fermeture, à savoir un maximum de  $5 \text{ pCi.g}^{-1}$  ( $0,35 \text{ Bq.g}^{-1}$ ) en sus du fond naturel de rayonnement pour l'ensemble du  $^{226}\text{Ra}$ , du  $^{228}\text{Ra}$ , du thorium et de l'uranium.

Bien que la teneur en uranium de ces matériaux puisse ne pas être importante du point de vue économique ou minier, la teneur en radionucléides (principalement l'uranium et le radium ainsi que leurs produits de filiation) peut être suffisante pour polluer les eaux souterraines ou de surface ou comporter un risque direct d'exposition (poussières, radon) pour la collectivité se trouvant au voisinage immédiat. Le terme de stérile est souvent employé aussi dans un sens relatif pour désigner les minerais qui présentent de l'intérêt. Les matériaux peuvent en fait renfermer d'autres minéraux présentant de l'intérêt. Ils peuvent aussi contenir des minéraux ayant des incidences sur l'environnement qui produisent de l'acide ou contiennent des éléments toxiques, notamment des métaux lourds et de l'arsenic.

La question de la gestion des matières très faiblement radioactives est actuellement débattue aux États-Unis, au sein de l'Union européenne et ailleurs. Ces matières, qui sont qualifiées de matières radioactives présentes dans la nature ou de matières radioactives présentes dans la nature techniquement amplifiées, comprennent les déchets issus de l'extraction et du traitement du minerai d'uranium. L'évacuation de ces catégories de matières peut être soumise aux codes et règlements nationaux régissant l'assainissement.

Ces stériles constituent normalement les seuls matériaux acceptables pour la construction de recouvrements structuraux et le remodelage final du paysage. Il y a aux États-Unis des exemples avérés d'utilisation des stériles de mines d'uranium comme matériaux de construction d'habitation, mettant les occupants en situation de risque radiologique. Cependant, à moins qu'ils soient exempts de tout élément susceptible d'influer sur l'environnement, ils doivent être utilisés de manière à ce que les rejets de métaux lourds et d'acide, par exemple, soient réduits au minimum et qu'ils n'aient aucun effet nocif sur l'environnement dans les zones à l'entour.

### ***Matières non rentables et minerais pauvres***

Il s'agit de matériaux intermédiaires, se situant entre les stériles et le minerai, qui sont récupérés. Une appréciation de non-rentabilité portée à un moment donné peut changer au fil du temps en fonction du prix susceptible d'être obtenu pour le produit final et de la technologie de traitement disponible. En conséquence, de nombreuses usines de traitement reviennent à leurs stocks de matières non rentables pendant les périodes de forte demande ou vers la fin de leur durée de vie. Si aucun traitement n'est envisagé, la gestion finale de ces matières dans le cadre du processus de réaménagement exige de se préoccuper de leur capacité d'exercer des incidences nocives sur l'environnement. On peut citer en particulier le risque que la paragenèse minérale cause un détriment à l'environnement. Le cas le plus courant est la présence de minéraux sulfurés en quantité suffisante pour provoquer la formation d'eaux d'exhaure de roches acides. Il peut s'agir là d'un danger important pour l'environnement car les effets sont susceptibles de se propager à travers le milieu aquatique aussi bien qu'à travers le sol. L'emplacement définitif des déchets présentant un potentiel acidogène devrait être choisi de manière à éliminer ce risque dans la mesure du possible ou à le réduire au minimum par une atténuation efficace des phénomènes acidogènes et par le confinement des acides et des résidus. Il faut généralement prévoir à cet effet des décharges comportant des garnitures de fond, des systèmes de drainage ouvragés et, tout au moins, des recouvrements ouvragés à faible perméabilité.

### ***Résidus de traitement***

Les résidus de traitement constituent à la fois le type le plus courant et le plus volumineux de déchets de procédé associés à la production d'uranium. Ces résidus résultent du procédé de traitement qui consiste en des opérations successives de concassage et de broyage des roches à teneur exploitable, en vue d'obtenir une matière ayant la consistance d'un sable à grains relativement uniformes. Cette matière fait ensuite l'objet d'une lixiviation par des réactifs soit alcalins, soit acides, afin de dissoudre et d'extraire l'uranium. Les résidus de traitement ont une granulométrie comprise entre 0,5 mm et, pour 80 % environ d'entre eux, 0,2 mm de diamètre, analogue à celle d'un sable fin. Ils sont rarement inertes car non seulement ils ont été finement divisés, ce qui les rend intrinsèquement plus réactifs, mais ils peuvent également renfermer des déchets de produits chimiques de procédé comprenant, par exemple, des agents oxydants, des neutralisants et des solutions de lixiviation. Il est également courant que la plus grande partie de la radioactivité, liée notamment au radium, subsiste, seul l'uranium, voire le thorium, étant éliminés. Le confinement définitif des résidus est en règle générale le problème majeur soulevé par la fermeture et le réaménagement d'un site d'extraction du minerai d'uranium. Le problème tient à la fois au simple volume physique, aux propriétés géotechniques complexes provenant de la finesse de la granulométrie, ainsi qu'aux risques radiologiques et toxicologiques pour l'environnement et la santé humaine.

### ***Déchets issus de l'exploitation par lixiviation en tas***

La lixiviation en tas (LET) est une méthode permettant de récupérer l'uranium simplement à partir de minerai tout-venant ou concassé, qui est en général pauvre, sans passer par le procédé de traitement décrit ci-dessus. La lixiviation en tas peut s'effectuer selon divers modes. Dans tous les cas, il convient de construire des aires de stockage ou des polders avec une garniture de fond étanche en vue de recueillir la solution enrichie. Ces tas peuvent être laissés en place une fois la lixiviation achevée ou bien les matières peuvent être transférées vers un site d'évacuation afin de laisser la place à du minerai neuf.

Les propriétés chimiques de l'uranium permettent d'appliquer avec succès des procédés de lixiviation par voie tant acide qu'alcaline, le choix dépendant de la minéralogie du minerai et de la roche hôte. Bien que ces matières à granulométrie plutôt grossière, composées aussi bien de gros galets ou de cailloux que de gravier, puissent être moins réactives que les matières broyées, la plupart des constituants radioactifs et chimiquement actifs, tels que les sulfures, demeureront dans les résidus. En conséquence, celles-ci devraient être considérées comme susceptibles de causer des préjudices à l'environnement et à la santé.

La meilleure stratégie de gestion est de veiller à ce que ces déchets soient gérés de manière non seulement à éviter tout contact avec l'air et l'eau, mais aussi à empêcher tout produit de lixiviation d'atteindre le milieu aquatique.

### ***Déchets et résidus issus de l'exploitation par lixiviation in situ (LIS)***

On peut récupérer l'uranium en injectant des solutions acides ou alcalines dans les couches minéralisées et en récupérant la solution enrichie par l'intermédiaire de trous de sonde. En général, cette opération s'effectue à partir de la surface mais, dans le passé, elle a aussi été utilisée en liaison avec l'exploitation minière en profondeur.

Les opérations de LIS engendrent très peu de déchets solides car aucune roche stérile ou matière minéralisée, hormis celles provenant du forage des trous de sonde, n'est ramenée à la surface.

Cependant, la récupération de l'uranium à partir de la solution enrichie produira des déchets tant solides que liquides, et notamment :

- Des solides et des boues provenant de la neutralisation des solutions.
- Des résines échangeuses d'ions usées.
- Des résidus de sel et des filtres usés provenant des postes d'osmose inverse.
- Du tartre provenant des canalisations, pompes, vannes et filtres, etc.
- Des résidus issus des bassins d'évaporation.
- Des lixivants (neutralisés) excédentaires.

Lorsque la réglementation nationale l'autorise, les solutions de déchets peuvent être réinjectées sous terre dans l'aquifère, à condition de ne pas contaminer les ressources en eau potable. Dans les autres cas, il conviendrait de traiter les solutions de déchets afin de produire un effluent d'une qualité se prêtant au rejet. Cela peut être réalisé à l'aide de procédés comme l'osmose inverse, l'échange d'ions ou la précipitation massive. Les résidus solides devraient être gérés d'une manière appropriée, qui soit agréée pour l'évacuation des déchets de faible activité.

### ***Boues provenant du traitement des eaux***

La gestion des eaux contaminées au cours des travaux de réaménagement et de déclassement devrait être intégrée au programme de gestion des déchets. Pour traiter l'eau, on aura souvent recours à l'une des différentes méthodes dont certaines sont exposées au Chapitre 6. Nombre de ces procédures engendreront certaines formes de résidus, notamment des précipités, des boues, des résidus d'évaporation ou des résines échangeuses d'ions, qui ne peuvent être ni rechargés ni régénérés.

Il importe que le plan de gestion de tout programme de traitement des eaux (qui se poursuivra après la fin du réaménagement) prenne en compte le dépôt définitif des boues, leur déshydratation et leur transport jusqu'au site de confinement.

### ***Résidus issus de la décontamination et du démantèlement des infrastructures***

Comme il a été indiqué ci-dessus, les opérations de décontamination et/ou de démantèlement des installations sont susceptibles d'engendrer toute une gamme de déchets. Ceux-ci peuvent comprendre des débris matériels d'infrastructures ne pouvant être ni recyclés, ni réutilisés, tels que les matériaux de construction, l'acier de construction, les matériaux de surfacage des routes, certaines pièces d'équipements et de machines provenant de la mine et de l'usine de traitement. Un autre type de déchets sera constitué par les matières et agents de nettoyage utilisés pour décontaminer les installations, notamment le sable et les particules abrasives provenant du décapage au jet, l'eau contaminée résultant du lavage et du nettoyage au jet à haute pression des installations et équipements, la peinture décapante, les résidus de peinture enlevés des équipements lors du nettoyage, ainsi que les résines échangeuses d'ions utilisées dans les activités de décontamination. Tous ces déchets doivent être évacués par des moyens sûrs et approuvés. En général, ils sont soit placés dans des endroits déterminés des bassins de décantation des résidus, dans des dépôts agréés de déchets de faible activité construits à cet effet sur place, soit transférés hors du site vers de tels dépôts.

Les déchets engendrés par les procédés de décontamination doivent être gérés de façon appropriée, ce qui implique, dans la plupart des cas, une méthode de conditionnement assurant que les contaminants sont immobilisés. On obtient souvent ce résultat en incorporant des déchets solides et

des boues, comme les résidus de sablage et le gâteau de filtration, dans des mélanges de ciment, qui sont coulés dans des blocs. La présence du ciment ou d'autres liants appropriés réduit la mobilité des contaminants potentiels. Ces blocs sont alors placés dans les enceintes de confinement. Certaines matières peuvent être déposées dans des fûts métalliques ou conteneurs analogues, qui sont alors placés dans des enceintes de confinement.

### ***Sols contaminés***

Au cours de l'exploitation, les sols, que ce soit sur le site ou en dehors de celui-ci, peuvent avoir été contaminés non seulement par des radionucléides et métaux lourds provenant des minerais, mais aussi par des substances telles que les lubrifiants et les fiouls. Ces sols doivent être soumis à une procédure de réaménagement adéquate ou être supprimés de façon méthodique. Il existe diverses méthodes de traitement *in situ*, sur le site et hors site qui ont fait l'objet d'études (voir notamment [3]). Les techniques de réaménagement *in situ* ne sont applicables que dans certaines limites aux radionucléides, produisant soit leur immobilisation, soit leur retrait sous l'effet de l'absorption par les plantes, puis de la récolte. Le bioréaménagement *in situ* peut être la méthode indiquée pour la destruction et l'élimination des contaminants organiques, tels que les fiouls. Dans d'autres cas, les sols devront être enlevés, en général par des machines, comme des racloirs, des niveleuses et des bulldozers, et transportés sur un site approprié à des fins d'évacuation définitive et de confinement, ou à des fins de traitement. Le lavage des sols constitue un traitement type contre les radionucléides, qui s'effectuera soit sur le site, soit hors site. Les liquides (aqueux) contaminés qui en résultent doivent être traités et les résidus doivent être évacués, ainsi qu'il est indiqué dans une autre partie du présent rapport.

Tout au long du processus de réaménagement des sols, il faut appliquer des mesures visant à supprimer les poussières et à confiner les sédiments de ruissellement. Le transport et la manipulation de ces matières doivent s'effectuer conformément aux codes de pratique applicables à la santé et à la sécurité des travailleurs, ainsi qu'au transport de matières radioactives.

### ***Déchets divers et déchets d'exploitation laissés sur le site***

L'extraction et le traitement du minerai d'uranium, de même que les activités ultérieures de déclassement et de réaménagement de l'environnement, engendrent des déchets radioactifs et non radioactifs divers qui ne relèvent pas des catégories susmentionnées. Tous les déchets d'exploitation, y compris par exemple les réactifs de procédé, les combustibles, les matériaux d'emballage non employés, devraient être retirés du site à des fins de réutilisation ou envoyés dans une enceinte de confinement pendant le processus de déclassement. Il importe que les matières soient réutilisées ou recyclées dans toute la mesure du possible. Il faudrait également veiller à s'assurer que ces matières ne sont pas restées en arrière au cours du processus de réaménagement, risquant ainsi de contaminer le site. Bien que les possibilités de contamination radioactives puissent figurer au premier rang des préoccupations, il faudrait aussi tenir compte, dans le processus de réaménagement, de tous les autres contaminants potentiels qui risquent d'avoir des incidences néfastes sur l'environnement, tels que les produits chimiques organiques et les métaux lourds. Ces questions devraient être gérées, comme dans le cas de tout autre site industriel, en vertu des règlements en vigueur. La vente de ces matières peut fournir certaines recettes pour faire face aux coûts du programme de réaménagement, de même qu'elle peut éviter le coût d'évacuation de ces matières.

- Bois usé provenant du cuvelage de la mine.
- Déchets de laboratoire (articles de verre, vêtements, etc.).
- Tartre provenant des canalisations, pompes, vannes et filtres, etc.

- Huiles et lubrifiants provenant de l'usine et des machines.

Ces déchets doivent être gérés selon les règles et règlements applicables et évacués dans des installations agréées sur le site ou hors site, si ces matières ne peuvent pas être recyclées ou réutilisées après la décontamination.

## **Installations d'évacuation en structures ouvragées**

### ***Objectifs et prescriptions***

Les déchets issus de l'extraction et du traitement du minerai auront été placés dans divers types d'installations d'évacuation en structures ouvragées pendant la durée de vie utile. Au cours du déclassement et en prévision de la fermeture, ces installations devront être vérifiées, afin de s'assurer de leur aptitude à servir de dépôts à long terme. Parmi les aspects et facteurs à prendre en compte figurent :

- La stabilité géotechnique des structures de confinement, telles que les barrages, des matières stockées en bassin et de tout recouvrement.
- Des garnitures de fond destinées à empêcher les eaux d'infiltration de s'échapper.
- Des systèmes de drainage en structures ouvragées destinés à recueillir les infiltrations.
- Des recouvrements destinés à empêcher l'infiltration des eaux de pluie et l'érosion hydrique ou éolienne des matières stockées en bassin.

Suivant les conditions d'exploitation de la mine, la disponibilité de ressources techniques et financières, ainsi que la faisabilité technique, la solution préférée peut consister à utiliser tous ces déchets pour remblayer la mine. Cette solution peut être particulièrement indiquée pour les mines à ciel ouvert et a été appliquée dans le cadre du plan d'exploitation en Australie et dans un contexte de réaménagement en Allemagne. Elle a en outre l'avantage de réduire de façon spectaculaire l'empreinte du terrain touché.

Le transfert des résidus et autres déchets dans des installations répondant à certaines normes écologiques et géotechniques peut s'imposer mais il faut procéder à une évaluation formelle des risques en vue de pondérer les divers types de risques radiologiques, non radiologiques et industriels liés à cette opération.

Le stockage correct en bassin des résidus de traitement exige une attention particulière en raison des propriétés spécifiques de ces matières, ainsi qu'il a été indiqué plus haut. Les paragraphes qui suivent exposent brièvement divers dispositifs de stockage en bassin des résidus. Différentes études qui ont été publiées décrivent plus en détail ces installations [4-9], ainsi que les caractéristiques fondamentales, les avantages et les inconvénients de chaque type de dispositif [10].

Des enceintes de confinement peuvent être mises en place sur le site, à condition qu'il existe des emplacements appropriés et que cela n'entrave pas l'utilisation prévue des sols. Si l'on dispose d'une mine à ciel ouvert épuisée, celle-ci peut offrir une solution appropriée. Les règles applicables à l'enfouissement, sur le site, des déchets sont généralement énoncées dans les lois, codes de pratique et règlements locaux ou nationaux [11]. Le principal sujet de préoccupation tient à la nécessité de garantir l'intégrité du confinement pendant une période conforme aux prescriptions réglementaires nationales, au mieux sans entretien ou intervention complémentaire. En Suède, par exemple, cette



période est de 10 000 ans. Ces objectifs militent en faveur de l'évacuation et du confinement des déchets en souterrain. Il importe toutefois que l'excavation ou l'enceinte de confinement convienne à cet effet. Les critères et objectifs de conception sont les mêmes que ceux applicables aux installations d'évacuation en structures ouvragées hors site, notamment en ce qui concerne le maintien de l'intégrité du confinement et les émanations de radon.

### ***Bassins de stockage des résidus de traitement***

#### *Lacs*

Au Canada et dans certaines parties de l'ex-URSS, les résidus de traitement du minerai d'uranium ont parfois été déposés par le passé dans des lacs ou des cavités remplies d'eau. Le comportement à long terme des résidus dans de tels emplacements a suscité des inquiétudes eu égard au risque d'incidences nocives sur la qualité des eaux de surface et souterraines. Cependant, la couverture aqueuse réduit les émanations de radon et évite les problèmes d'eaux d'exhaure acides qui se posent lorsque les résidus sont réactifs et sulfurés, à condition que ces résidus demeurent sous l'eau dans un milieu anoxique.

#### *Digues annulaires et systèmes en remblayage de fond de vallée*

Les systèmes de digues annulaires constituent sans doute la forme la plus courante d'installation de stockage des résidus. L'endigement prend souvent appui sur le sol avec peu de préparation de la surface. Ces systèmes sont construits comme des structures autonomes, autrement dit elles peuvent être de forme circulaire ou rectangulaire, mais toujours refermées sur elles-mêmes. Souvent ces dispositifs ne sont pas construits comme des structures de confinement des eaux et comportent des drains afin d'améliorer la stabilité des digues et de collecter les eaux d'infiltration. Le type de dépôt peut être subaérien ou subaquatique. La méthode de mise en place se fonde en règle générale sur la fraction grossière des résidus qui a été séparée par cyclonage. Dans la méthode dite « amont », l'extension du bassin de décantation des résidus est réalisée en déposant les nouveaux résidus en amont de la crête de la digue, alors qu'une meilleure stabilité peut être obtenue grâce à la méthode dite « aval ». De telles structures au-dessus du sol peuvent être assez visibles dans le paysage et poser un problème esthétique au moment de la fermeture ou du réaménagement. Leur stabilité géotechnique à long terme doit être confirmée.

Les systèmes de stockage des résidus en remblayage de fond de vallée sont souvent utilisés dans des régions montagneuses. Leur principale caractéristique est un barrage ou un endiguement construit en travers de la vallée. Les résidus sont déposés en amont en milieu soit subaquatique, soit subaérien. La principale préoccupation suscitée par de telles structures concerne les risques liés aux débits de crue vers la vallée, entraînant un débordement des eaux par-dessus le barrage qui, à son tour, pourrait provoquer la rupture de l'endigement et la dispersion ultérieure des résidus.

Autrefois, on laissait parfois les résidus se déverser notamment dans des tas de stériles non confinés et non consolidés contigus à l'usine de traitement ou à proximité immédiate de cette dernière. En raison de la finesse de la granulométrie, ces sites peuvent avoir été à l'origine de la dispersion des résidus tant par le vent que par l'eau. De telles pratiques ne sont plus acceptables et les situations de ce type devraient être gérées de façon appropriée.

## *Mines à ciel ouvert*

En plusieurs endroits, les résidus ont été redéposés dans des mines à ciel ouvert, d'ordinaire au moment du traitement du minerai (ou éventuellement après déplacement à la fin du traitement). Ces derniers temps, on a de plus en plus tendance à enfouir sous le sol autant de résidus que possible afin de limiter les risques et les responsabilités en matière d'environnement liés au stockage des résidus en surface. Dans le passé, les résidus étaient séparés en fractions grossières et fines (limons) mais, aujourd'hui, la technologie utilise plutôt des résidus entiers. De plus en plus de systèmes modernes d'évacuation des résidus font appel à des techniques à base de résidus pâteux ou épaissis. Les épaisseurs de résidus augmentent la concentration de solides et réduisent la quantité d'eau présente dans un volume donné de l'installation [12,13].

On peut aussi ajouter aux résidus des additifs, tels que du ciment ou d'autres matières pouzzolaniques, en vue d'améliorer leur résistance géotechnique et de réduire la mobilité des contaminants contenus dans les matériaux.

L'enfouissement des résidus est considéré comme la principale solution dans la mesure où cette méthode offre une grande sûreté eu égard à la dispersion ultérieure des matières. La nature de la mine à ciel ouvert et, en particulier, l'état des eaux souterraines, la quantité d'écoulements aussi bien que la qualité des eaux, l'emplacement de l'excavation, l'existence de revêtements et la nature des résidus sont autant de facteurs qu'il convient de prendre en considération lors de l'élaboration du plan de gestion. En particulier, le potentiel de contamination des eaux souterraines, la conception d'un recouvrement de la structure de confinement qui pourra résister à l'affaissement et au tassement de la masse de résidus, ainsi que le choix d'une hauteur acceptable pour le profil de la surface des résidus dans l'excavation, devraient tous être déterminés dès le stade de la conception.

Un autre aspect à prendre en considération dans le cas des mines à ciel ouvert est le risque que les parois rocheuses produisent des eaux d'exhaure acides, si elles demeurent exposées à l'air libre. Le dépôt des résidus permettrait de résoudre en partie le problème, surtout si avec le temps la masse est saturée par les eaux souterraines et crée ultérieurement un milieu anaérobie, réduisant de ce fait le potentiel acidogène.

Étant donné les petites dimensions des grains et la finesse de la granulométrie, les résidus présentent en général une faible perméabilité aux flux d'eau. Dans tous les cas, la « méthode du milieu drainant » pour l'évacuation dans des mines à ciel ouvert dévie la circulation des eaux souterraines autour du bassin de stockage et permet d'améliorer la consolidation grâce à un meilleur drainage. Au fur et à mesure du remplissage de l'excavation par des résidus, une couche de roches grossières perméables est mise en place autour des parois de l'excavation. Cette couche joue le rôle d'un vaste réseau de drainage continu relié à un système de pompage qui permet d'assécher les résidus et d'assurer ainsi une meilleure consolidation de l'entassement.

Après le réaménagement final, on laisse la nappe phréatique retrouver son niveau naturel, mais, en particulier dans le cas de la « méthode du milieu drainant », les résidus demeurent isolés de la circulation des eaux souterraines.

## *Évacuation des eaux souterraines*

Les matières présentant une faible résistance au cisaillement, telles que les boues issues du traitement des eaux ou les résidus de traitement, peuvent être commodément pompées en souterrain. Ce procédé a pour atout supplémentaire d'être capable de combler les cavités subsistant dans les chantiers de mine remblayés, de fournir un soutien à la poursuite des activités minières dans les

chantiers adjacents, d'offrir un espace d'évacuation là où l'espace disponible en surface était insuffisant et de réduire les charges potentielles à long terme en matière d'environnement qui sont imputables aux sites d'évacuation à proximité de la surface. Cependant, le facteur de foisonnement lié au traitement et au broyage des roches fait que l'on ne peut, en règle générale, déposer que 60 à 65% des résidus dans les cavités dont ils proviennent. Le recours à la technique des pâtes peut contribuer à maximiser le volume susceptible d'être mis en place dans les chantiers, à condition de disposer d'une technique pour acheminer les pâtes.

Une autre solution consiste à construire des « silos » dans les roches stériles au-dessus du corps minéralisé en ayant recours soit à un forage montant, soit à l'abattage en gradins. Les résidus seraient alors placés dans les silos, très probablement sous forme de pâte cimentée. Les stériles provenant de l'excavation des silos seraient stockés en bassin à la surface. L'idée fondamentale qui sous-tend ce système est de remplacer les matières dangereuses par des matières moins dangereuses dans les bassins de stockage en surface. Néanmoins, les propriétés des matériaux excavés devraient être vérifiées pour s'assurer qu'ils peuvent être évacués en toute sécurité. Ce système a déjà été adopté dans le cadre du projet d'exploitation minière de Jabiluka en Australie, car, conformément aux prescriptions réglementaires applicables à toutes les mines d'uranium de la région d'Alligator Rivers, les résidus de traitement du minerai d'uranium doivent être confinés en dessous du niveau du sol lors du déclassement.

Ces solutions d'évacuation en souterrain risquent d'être coûteuses par rapport aux solutions en surface mais, dans des circonstances particulières, elles peuvent constituer la solution la plus viable sur le plan économique. Si le corps minéralisé est suffisamment riche et que la mine se trouve dans un emplacement vulnérable du point de vue de l'environnement, par exemple, les surcoûts éventuels peuvent être alors acceptables pour l'exploitant.

### ***Bassins de stockage des déchets solides***

Le stockage en bassin des stériles issus de l'extraction du minerai d'uranium s'inspire des pratiques bien établies d'ingénierie minière et géotechnique comme pour les autres types d'exploitation minière. Indépendamment des problèmes de stabilité géotechnique des pentes, les deux principales questions liées à ces bassins de stockage de roches en vrac sont la production d'eaux d'exhaure acides par suite de l'oxydation des pyrites et autres sulfures, ainsi que la dispersion des radionucléides et autres éléments toxiques en raison de l'érosion hydrique ou éolienne.

Les problèmes géotechniques sont résolus grâce à un nivellement approprié des pentes, talus, etc. On peut lutter contre la production d'eaux d'exhaure acides et l'érosion en recouvrant les tas de stériles de matières inertes. Ces recouvrements réduisent au minimum l'infiltration de précipitations atmosphériques et l'apport d'oxygène. La végétation contribue aussi à accroître la cohésion des couches supérieures et à réduire les possibilités d'érosion. Les matériaux de couverture devraient fournir un substrat adéquat à la restauration du couvert végétal.

La caractérisation des déchets et les matériaux de couverture envisagés compte tenu de leurs propriétés pétrographiques, minéralogiques et géotechniques servent de fondement aux travaux ultérieurs de conception et de planification.

### ***Recouvrements***

Les programmes de fermeture et de réaménagement relatifs aux bassins de stockage des déchets, dans lesquels ces derniers doivent demeurer au-dessus du sol, impliquent la construction de quelque forme de recouvrement, ainsi qu'il est indiqué ci-dessus. Les matériaux qui conviennent le mieux à cet

effet sont les roches excavées « propres » et d'autres roches et sols se trouvant sur place, si ceux-ci sont de qualité appropriée. Le recouvrement aura plusieurs fonctions, et notamment les suivantes :

- Confiner les déchets et empêcher leur dispersion par l'action du vent ou de l'eau.
- Empêcher les incursions d'animaux fouisseurs et les intrusions humaines.
- Réduire les émissions directes de rayonnement gamma.
- Jouer le rôle de barrière contre les émanations de radon.
- Limiter l'entrée d'eau et réduire ainsi la lixiviation ou les modifications chimiques des déchets.
- Favoriser le tassement et, ainsi, réduire le délai requis pour que le tas de déchets parvienne à un état géotechnique et hydraulique stable.
- Agir comme protection contre l'érosion.
- Fournir un substrat propice à la croissance de la végétation.

Les recouvrements peuvent devoir être constitués de plusieurs couches, afin de faire en sorte que chacune des fonctions susmentionnées puisse être remplie avec succès. Par exemple, il peut y avoir une prescription imposant la présence a) d'une couche rocheuse faisant barrière, b) d'une couche limitant les infiltrations et jouant le rôle de barrière contre les émissions de radon, qui sera généralement constituée de roches altérées ou d'argile sous forme compactée, et c) d'une couche en surface (couverture de perré) servant de protection contre l'érosion.

Il faut procéder à la caractérisation détaillée des différents types de matériaux disponibles pour choisir celui qui convient le mieux. Il se peut que certaines propriétés aient été étudiées pendant l'exploitation mais il est judicieux de rééchantillonner les roches et les sols en cours de stockage, afin de s'assurer que les conditions présentes sont comparables à celles observées initialement. Les méthodes et paramètres à étudier sont exposés ci-après. En particulier, il convient de déterminer la présence ou l'absence de sulfures et le potentiel de formation d'eaux d'exhaure de roches acides. Les caractéristiques d'altération superficielle des roches choisies constituent des paramètres importants du point de vue de la libération potentielle des contaminants qu'elles renferment, ainsi que de la résistance à l'érosion et de la stabilité à long terme.

Le mieux serait que les matériaux des recouvrements proviennent du site lui-même ou de zones avoisinantes, en vue de réduire les incidences du transport dans la région et de s'assurer que les propriétés de sol du recouvrement définitif s'intégreront le mieux possible au paysage environnant. Cela devrait par la suite faciliter la restauration du couvert végétal car les communautés végétales sur le site réaménagé pourront se fondre davantage dans la végétation environnante.

## **Caractérisation des déchets et matériaux utilisés à des fins d'ingénierie**

### ***Caractérisation pétrographique et minéralogique***

La caractérisation minéralogique du minerai se fait pendant la phase d'exploration car elle constitue le fondement permettant de déterminer l'importance des ressources et la technologie optimale de récupération du minerai [14]. Il est utile de caractériser les roches et les résidus stockés en bassin qui ont été altérés par la procédure de lixiviation [11,15], afin de confirmer l'effet de cette

dernière et l'effet que le stockage pourrait avoir exercé, de même que l'inventaire radiologique et toxicologique qui subsiste. Parmi les facteurs revêtant un intérêt particulier figurent :

- La présence éventuelle de minéraux argileux et autres minéraux néoformés.
- L'association minéralogique et la lixivabilité des polluants potentiels (radionucléides résiduels, métaux lourds, etc. et le potentiel acidogène).
- La distribution des différents polluants potentiels à l'intérieur du tas de stockage et/ou d'évacuation.
- La qualité de l'eau interstitielle en contact avec les matériaux stockés en bassin.
- L'évolution possible du matériau depuis qu'il a été évacué.

Selon la conclusion se dégageant d'études menées en France sur les résidus de traitement issus de la lixiviation par voie acide :

- L'eau interstitielle est en équilibre avec les minéraux.
- La teneur en radium et en uranium est faible et correspond à la qualité des eaux d'infiltration qui s'écoulent du tas de résidus.
- Moins de 1 % du radium était lixiviable du fait de sa fixation sur les minéraux argileux nouvellement formés. Aucune migration de radium n'a été observée dans le granite sous-jacent et l'évolution naturelle entraîne un confinement chimique encore meilleur [16-19].

Cependant, les études effectuées dans d'autres pays parviennent parfois à des conclusions moins favorables.

L'évaluation du terme source relatif aux polluants impliquerait une évaluation radiologique des matériaux, associée à une surveillance du rayonnement gamma et des émanations de radon sur le site et au voisinage de ce dernier.

### ***Caractérisation géotechnique***

Les déchets et matériaux stockés en bassin qui sont utilisés pour construire les structures de confinement et les recouvrements doivent être soumis à des essais géomécaniques, afin de déterminer leur stabilité géotechnique et leur aptitude à remplir les fonctions souhaitées. Des méthodes géotechniques standard utilisées en laboratoire et sur le terrain sont appliquées aux échantillons prélevés dans les structures existantes et dans les matériaux proposés pour les nouvelles structures. Des essais plus poussés, tels que des expériences au lysimètre, pourraient s'avérer nécessaires. Il s'agit notamment en l'occurrence :

- De vérifier la stabilité des digues entourant les bassins de stockage, des parois rocheuses des puits à ciel ouvert, des talus et pentes des bassins de stockage intégrés dans le paysage.
- D'établir des données permettant de modéliser les équilibres entre l'eau et les gaz du sol (y compris le radon) dans les bassins de stockage.
- D'établir des données permettant de prévoir le tassement des matériaux stockés en bassin et d'ajuster l'épaisseur des recouvrements en fonction de la topographie finale prévue.

Les principaux paramètres à déterminer comprennent en général :

- Les granulométries et autres caractéristiques qui permettront de classer le matériau en fonction des systèmes géotechniques (nationaux).
- Les indices de Proctor et les caractéristiques de compactage.
- La résistance au cisaillement, l'angle de cisaillement et la résistance à la compression (essais tri-axiaux confinés et non confinés avec ou sans drainage).
- Les indices de cohésion (d'après les tests d'Atterberg, par exemple).
- L'essai odométrique et la caractéristique de tassement.
- La perméabilité, la conductivité hydraulique et la teneur en eau.

### Références

- [1] Klessa D.A. et Legras C.A.A. (1994), *The effects of soil storage on soil properties, and the soils seed bank and its implications for soil emplacement in the rehabilitation of Nabarlek Mine site: A review of the literature and plan of study*, Internal report IR153, Supervising Scientist for the Alligator Rivers Region, Darwin, Australie.
- [2] Minerals Council of Australia (1998), *Mine rehabilitation handbook* (Second Edition). Minerals Council of Australia, Canberra, Australie.
- [3] Agence internationale de l'énergie atomique (1999), *Technologies for the Remediation of Radioactively Contaminated Sites*, IAEA-TECDOC-1086, Vienne.
- [4] Agence internationale de l'énergie atomique (1981), *Current Practices and Options for Confinement of Uranium Mill Tailings*, Technical Reports Series N°209, Vienne.
- [5] Agence internationale de l'énergie atomique (1992), *Current Practices for the Management and Confinement of Uranium Mill Tailings*, Technical Reports Series N°335, Vienne.
- [6] Agence internationale de l'énergie atomique (1994), *Decommissioning of Facilities for Mining and Milling of Radioactive Ores and Closeout of Residues*, Technical Reports Series TRS N°362, Vienne.
- [7] Agence internationale de l'énergie atomique (1997), *Closeout of Uranium Mines and Mills : a review of current practices*, IAEA-TECDOC-939, Vienne.
- [8] Bof M., Loriot O. et Villeneuve A. (1998), *Le réaménagement des sites miniers en France*, Les cahiers de Cogémagazine, Direction de la Communication de la Cogéma, février 1998, 31 p.
- [9] DOE/Energy Information Administration (1995), *Decommissioning of US Uranium Production Facilities*, DOE/EIA-0592, US Government Printing Office, P.O. Box 371954, Pittsburgh, PA, 15250-7954, 70 p.
- [10] Waggitt P. (1994), *A review of world-wide practices for disposal of uranium mill tailings*, Supervising Scientist Group, Tech. Memo 48, Australian Government Publishing Service, Canberra, Australie.

- [11] Daroussin J.L. et Pfiffelmann J.P. (1994), *Milling sites remediation – Elements for a methodology as developed in France by Cogéma* (Réaménagement des sites d'usines de traitement: éléments d'une méthodologie élaborée en France par la Cogéma), IAEA RER/9/022, Projet régional de coopération technique pour le réaménagement des sites en Europe centrale et Europe de l'Est, Deuxième Atelier, Piestany, République slovaque, 1-15 avril 1994, IAEA-TECDOC-865, Vol. 2, p. 97-112.
- [12] Robertson A. (2000), *International Experience in Tailings Pond Remediation*, International Conference "Wismut 2000 – Mine Rehabilitation", 11-14 juillet 2000, Schlema, Allemagne.
- [13] Rowson J. (2000), *Tailings Management at COGEMA Resources's McClean Lake Operation*, International Symposium on the Uranium Production Cycle and the Environment, 2-6 octobre 2000, Siège de l'AIEA, Vienne.
- [14] Agence internationale de l'énergie atomique (1992), *Analytical Techniques in Uranium Exploration and Ore Processing*, Technical Reports Series N°341, Vienne.
- [15] Cathelineau M., Guerci A., Ahaamdach N., Cuney M., Mustin Ch. et Milville G. (1995), *Smectite-goethite-Fe, U, Ca and Ba sulfate assemblage resulting from bio-oxidation derived acid drainage in mine tailings: An analytical, experimental and numerical approach*, *Mineral Deposits From Their Origin to their Environmental Impacts*, Proceedings of the Third Biennial SGA Meeting, Prague, République tchèque, 28-31 août 1995, p. 647-649.
- [16] Ruhlmann F., Pacquet A., Reyx J. et Thiry J. (1996), *Evidence of Diagenetic Processes in Uranium Mill Tailings from Écarpière Uranium Deposit*, Proceedings Waste Management, WM'96 Tucson, AZ, 25-29 février 1996.
- [17] Somot S. (1997), *Radium, uranium et métaux dans les résidus de traitement dynamiques acides et alcalins de minerais d'uranium*, Thèse Université de Nancy I.
- [18] Somot S., Pagel M., Thiry J. et Ruhlmann F. (2000), *Speciation of  $^{226}\text{Ra}$ , uranium and metals in uranium mill tailings*, Proceedings of the Seventh International Conference on Tailings and Mine Waste 2000, Fort Collins, Colorado, Etats-Unis, 23-26 janvier 2000, p. 343.
- [19] Ward et coll. (1984), *Factors affecting Groundwater Quality at the Rehabilitated Mary Kathleen Dam, Australia*, Proceedings of the Sixth Symposium on Uranium Mill Tailings Management, p 319-329, Fort Collins, Colorado, mentionné dans Levins et coll. (1995), *Australian Experience in the Rehabilitation of Uranium Mines and Management of Waste from Uranium Mining and Milling*, Conférence internationale sur la radioprotection et la gestion des déchets radioactifs dans les industries minières et de traitement des minéraux, tenue sous les auspices de l'AIARP, Johannesburg, Afrique du Sud, 20-25 février 1995.





## 5. LE RÉAMÉNAGEMENT DES INSTALLATIONS DE GESTION DES DÉCHETS

### Objectifs et stratégies

Les bassins de stockage des stériles et des résidus, ainsi que les sites des anciennes mines et usines de traitement, qui ne sont pas conformes aux critères et normes en vigueur peuvent devoir être réaménagés. Le réaménagement a pour objet de supprimer tout effet potentiellement nocif sur l'environnement et la santé humaine et d'assurer la stabilité des bassins de stockage pendant des périodes prolongées. Les méthodes et objectifs du réaménagement sont analogues à ceux suivis lors de la fermeture ordinaire de ces installations. Outre la caractérisation minéralogique, géochimique et géotechnique qui a été décrite ci-dessus, des informations complémentaires doivent être recueillies en vue d'élaborer le plan final de réaménagement et de fermeture :

- Utilisation finale convenue des sols.
- Caractéristiques physiques : tonnage et emplacement des tas de stériles et superficie maximale pouvant être utilisée pour le site d'évacuation définitive, hauteur maximale pour le remodelage, angles de pente maximaux autorisés, caractéristiques d'érosion relatives aux combinaisons proposées de stériles et de pentes, et limitations éventuelles visant l'utilisation des structures de lutte contre l'érosion propres aux recouvrements définitifs.
- Disponibilité, la quantité et la qualité de la terre végétale à utiliser pour restaurer le couvert végétal, la disponibilité de stocks de semences et/ou de plantes appropriés à utiliser à cet effet.
- Expérience en matière de restauration du couvert végétal de roches de types similaires dans la région.

On trouvera ci-après une description plus détaillée des méthodes employées pour résoudre certains problèmes.

### Réaménagement des bassins de décantation des résidus

#### *Couverture sèche*

Deux types de système sont utilisés pour la fermeture définitive des bassins de décantation des résidus ; le premier implique une couverture sèche, alors que le second, examiné dans la section qui suit, fait appel à une couverture aqueuse permanente, principalement pour empêcher les émanations de radon.

### *Élimination de l'eau gravitaire et stabilisation de la surface*

Les résidus à évacuer se présentent généralement sous forme de pulpe de minerai et l'eau refoulée au cours de la consolidation s'amassera à la surface du bassin. Pour mettre en place une couverture sèche, il convient de retirer par pompage l'eau surnageante, qui sera rejetée après traitement. La surface du bassin de décantation peut devoir être d'abord stabilisée pour permettre la construction de la couverture. La couverture est mise en place progressivement à la suite du drainage (naturel), du processus d'assèchement en surface et de la stabilité de la surface résultante.

Pour améliorer le drainage de la masse de résidus, le processus naturel peut être renforcé par l'insertion de drains verticaux à mèches, ce qui entraînera un tassement plus rapide, réduisant ainsi le temps nécessaire pour que la masse atteigne la densité voulue. Cela réduira également les risques liés à la période d'instabilité géotechnique relative de la masse. L'emploi de mèches peut permettre d'obtenir une teneur finale en eau moindre que celle susceptible d'être atteinte par drainage naturel, en particulier lorsque les résidus sont stockés dans une excavation.

Afin de faciliter l'assèchement des résidus, on peut aussi étendre une mince couche de matériaux de couverture tout en augmentant la stabilité de la surface à l'aide d'une couche de géotextile (synthétique) et d'un grillage de fer. Cela a pour effet d'exercer une faible charge sur les résidus, contribuant ainsi à refouler les eaux interstitielles vers la surface. Le géotextile associé au grillage empêche l'apparition de fissures.

La fermeture des systèmes en remblayage de fond de vallées est semblable, dans la mesure où il faudra sans doute soumettre la masse de résidus à une consolidation forcée avant de pouvoir la faire passer en toute sécurité à la phase de surveillance et de contrôle. L'intégrité structurale des endiguements revêt en soi une importance primordiale et un renforcement des digues peut s'imposer en vue de répondre aux normes de confinement à long terme. L'état des fondations de l'emplacement choisi devrait être réexaminé, afin de s'assurer qu'il convient pour une installation de stockage définitif. Les conditions générales requises pour une telle installation seraient applicables aux digues annulaires.

En ce qui concerne les résidus que l'on a laissé se répandre sans aucun confinement, il conviendrait de les transférer vers un site doté de structures ouvragées appropriées, si aucun système de confinement ne peut être construit sur place. Le transfert peut s'effectuer par camion, par transporteur ou, s'il s'agit de boues, par pipeline, selon la distance à parcourir, ainsi que la quantité, la nature chimique des résidus et leur état physique, en particulier la teneur en eau.

### *Remodelage et aménagement paysager des installations de stockage des résidus en surface*

Le remodelage des installations de stockage des résidus situées au-dessus du sol a pour double objectif d'en améliorer la stabilité et l'intégration au paysage à long terme. On peut le réaliser en déplaçant les matières à l'intérieur du bassin de décantation principalement pour en réduire la pente ou pour renforcer les digues.

La mise en place d'une couverture sur la masse de résidus intensifiera leur tassement et doit être bien calculée afin d'être prise en compte comme il convient dans le modelage et l'épaisseur de la couverture. Des différences de tassement peuvent entraîner des affaissements sur les tas de résidus, ce qui soit favorise l'accumulation des eaux de surface et, ainsi, une augmentation des taux d'infiltration soit peut se traduire par des angles de pente inadéquats qui accroissent les taux d'érosion.

## *Recouvrement*

On peut alors procéder à la construction d'un recouvrement, notamment à la mise en place d'une protection contre l'érosion au sommet et sur les côtés de la structure. Le confinement des résidus devrait être conçu pour durer très longtemps. Certaines prescriptions réglementaires nationales fixent une période minimale de fonctionnement de cette structure qui peut varier entre 200 et 1 000 ans. Lorsqu'on établit des prévisions sur la durée de vie, il convient de prendre en considération le confinement des éventuels produits d'altération superficielle et de tous les radionucléides, la protection des ressources en eaux de surface et souterraines, ainsi que la prévention de la pollution provenant du site sous forme d'aérosols ou de matières en suspension.

Le recouvrement devrait être constitué de matériaux qui ne deviennent pas eux-mêmes une source de pollution supplémentaire, soit par érosion, soit sous forme des produits d'altération due aux intempéries. Les matériaux de recouvrement doivent aussi être compatibles avec l'utilisation finale convenue des sols.

## *Problèmes de gestion des eaux et évacuation des boues*

Les problèmes de gestion des eaux comprennent toutes les questions relatives à l'accumulation et au drainage des différents types d'eau et à la manière dont il convient de les traiter :

- Les eaux de surface venant de l'extérieur du bassin de décantation devraient être détournées afin de limiter les volumes d'eaux d'exhaure qui doivent être traités.
- Le ruissellement de surface imputable aux précipitations atmosphériques sur le site peut ne devoir être contrôlé qu'en ce qui concerne les matières en suspension (contrôle des sédiments). Cela revêtira de l'importance au cours de la période initiale qui suit immédiatement l'achèvement de la construction des recouvrements. Par la suite, ces eaux pourront éventuellement être rejetées sans aucun autre traitement.
- D'ordinaire, l'eau s'écoulant des chantiers (de mine) souterrains ou les eaux qui suintent des bassins de décantation doivent être traitées pendant une période prolongée.

La question de l'évacuation des boues issues du traitement des eaux, qui s'effectue de préférence sur le site, a déjà été examinée.

## *Restauration du couvert végétal – Entretien*

La restauration du couvert végétal constitue un élément important du processus de couverture qui assure une meilleure intégration au paysage, améliore la résistance à l'érosion et limite les infiltrations nettes en favorisant l'évapotranspiration.

On peut laisser la restauration du couvert végétal se dérouler naturellement ou rétablir le couvert végétal par des méthodes utilisées traditionnellement dans l'agriculture ou la sylviculture. « L'ensemencement par projection hydraulique », qui consiste à répandre une suspension de semences dans des solutions nutritives avec adjonction de gels organiques, notamment, est un moyen efficace qui donne même de bons résultats sur des étendues où il n'existe guère, voire pas de terre végétale. Des travaux exécutés à certains endroits, en particulier en zone tropicale humide, ont montré qu'un dernier recouvrement en surface formé de stériles propres est un milieu qui se prête à la croissance des végétaux, ce qui peut être important si les quantités de terre végétale disponibles pour les travaux de réaménagement sont insuffisantes, voire tout à fait inexistantes.

Indépendamment des facteurs de nature à stimuler la croissance végétale, un traitement spécial à la chaux peut être nécessaire dans le cas des terres végétales acidogènes.

Au cas où la plantation d'arbres serait autorisée sur le site, la préférence devrait être accordée aux espèces à racines peu profondes. Des espèces à racines profondes risquent de menacer l'intégrité des systèmes de recouvrement à couches multiples en favorisant les échanges d'air et d'eau avec la surface.

Bien que des contrôles passifs soient préférables, il faudrait planifier une certaine forme d'entretien pour maîtriser toute perturbation en surface (érosion locale, tassement, etc.) susceptible de se produire au cours des premières années. La surveillance périodique englobe l'étude de l'intégrité de la couverture en surface et l'on peut procéder, le cas échéant, à des interventions en vue de rétablir le couvert végétal ou la couverture de terre végétale.

### ***Couverture aqueuse***

Dans la mesure où les conditions topographiques et climatologiques s'y prêtent, on peut établir une couverture aqueuse permanente sur les résidus [1-3]. Comme dans le cas des couvertures sèches, il s'agit :

- d'arrêter l'érosion éolienne des plages sèches et de réduire les émanations de radon ;
- de faire obstacle aux intrusions ;
- d'empêcher la formation d'acides au cas où les résidus présenteraient un certain potentiel acidogène. La couverture aqueuse permanente empêche l'accès d'oxygène atmosphérique et peut favoriser l'apparition de conditions anaérobiques dans les résidus, ce qui réduit aussi la mobilité de nombreux contaminants qui suscitent des préoccupations.

Deux types principaux d'installations d'évacuation peuvent être envisagés si l'on décide de recourir à une couverture aqueuse :

- Dans le cas des bassins de décantation en surface, on achemine d'ordinaire les résidus sous forme de boues et on les laisse se déposer au point de décharge, la partie la plus grossière des résidus formant une plage et les vases se déposant lentement au centre du bassin de décantation.
- Dans le cas de l'évacuation des minerais pauvres dans des mines à ciel ouvert, les résidus peuvent avoir été transportés sous forme de pâte épaisse et évacués à l'aide la méthode du milieu drainant.

Il convient d'observer en l'occurrence un certain nombre de conditions préalables et de critères de conception :

- Garantie que la couverture aqueuse sera maintenue à l'avenir, c'est-à-dire qu'un bilan hydrologique naturel sera maintenu entre le drainage (suintements) et la recharge par précipitation atmosphérique ou l'infiltration d'eaux de ruissellement de surface et d'eaux souterraines provenant de la zone de captage qui les entoure. Cette remarque s'applique aux installations d'évacuation situées aussi bien dans des mines à ciel ouvert qu'au-dessus de la surface. En conséquence, dans la plupart des cas, cette option n'est envisageable que dans les climats tempérés ou humides.

- Stabilité géotechnique des digues et autres structures de confinement et conception du système de drainage permettant de faire face aux risques d'inondation. Un sujet de préoccupation particulier tient à la perte de stabilité des barrages et des digues par suite de l'érosion par dégradation en cas de débordement au cours d'orages.
- Les résidus stockés en bassin doivent être nivelés (par dragage notamment), afin d'éviter que certaines parties des matériaux ne soient exposés en cas de variation du niveau d'eau.
- Une couverture subaqueuse des résidus constituée de matériaux inertes peut s'avérer nécessaire, en vue de réduire les échanges par diffusion avec l'eau surnageante.
- Les eaux de drainage et d'infiltration provenant du bassin de décantation peuvent devoir être gérées pendant un certain temps, ce qui implique des contrôles de qualité de l'eau, ainsi qu'une intervention et un traitement, si nécessaire.
- Les bassins de décantation en surface comportant des couvertures aqueuses sont susceptibles d'exiger davantage de surveillance et d'entretien pour assurer leur fonctionnement que les sites d'évacuation analogues dans des mines à ciel ouvert.

Dans le passé, les résidus étaient évacués dans des lacs naturels et il sera rarement possible de les déplacer efficacement ou économiquement. Les travaux de réaménagement devraient, dans ces cas, viser à s'assurer que les résidus demeureront confinés, ce qui pourrait nécessiter l'adjonction d'un recouvrement constitué de couches de sable et de roche ou d'autres matières analogues. Des programmes de contrôle de la qualité de l'eau devraient aussi être instaurés.

### ***Stockage souterrain des résidus***

Lorsque des résidus ont été enfouis au cours de l'exploitation ou au moment du déclassement, il n'y aura probablement guère d'autres possibilités ni de nécessité de procéder à des travaux de réaménagement. L'enfouissement des résidus sans couverture ou en souterrain est de nature à offrir la meilleure solution de gestion à long terme, s'agissant tant de réduire la responsabilité juridique susceptible d'être encourue que d'assurer la plus grande sécurité possible de l'environnement à long terme. Cependant, il faut envisager l'éventualité d'une lixiviation et d'une suffusion par l'infiltration d'eaux souterraines. Parmi les options en matière de prévention et de réaménagement figurent le scellement des chantiers de mines à ciel ouvert et la création de barrières souterraines par l'injection de mortier, etc.

### **Réaménagement des tas de stériles**

Les stériles engendrés par l'exploitation minière sont d'ordinaire déposés en surface et les décharges sont par la suite remodelées pour s'intégrer dans une topographie définitive conçue en vue d'améliorer la stabilité géotechnique et de limiter l'érosion en surface sur ce modelé artificiel. Les incidences néfastes possibles sur l'environnement résultant de l'altération superficielle des roches excavées et entassées, comme par exemple la tendance à générer des eaux d'exhaure de roches acides, devra être évaluée de façon approfondie avant d'adopter le plan d'aménagement définitif. Il peut être nécessaire de prévoir un recouvrement en structures ouvragées afin de réduire les taux d'érosion et de fournir un substrat à la restauration ultérieure du couvert végétal.

## **Réaménagement des tas de matériaux non exploitables économiquement**

Comme dans le cas d'autres matières minéralisées, il conviendrait d'évaluer les incidences néfastes possibles, sur l'environnement et la santé humaine, de ces tas de matériaux. Outre les données géotechniques et géochimiques requises pour les matières non minéralisées, les facteurs suivants devraient être évalués :

- Niveaux du rayonnement gamma émis par la roche.
- Taux d'émanation du radon.

Il faut convenir avec les autorités réglementaires des normes à adopter pour le confinement de ces matériaux : c'est ainsi que l'on pourra spécifier le débit de dose de rayonnement gamma fixé comme objectif dans le cas du groupe critique se trouvant sur le site réaménagé, le taux d'émanation du radon fixé comme objectif, les couvertures minimales de « matières propres » à laisser au-dessus des matières radioactives. Si ces matériaux doivent être déplacés, leur mise en place dans l'enceinte de confinement selon un ordre spécifique (les plus radioactifs étant déposés dans la partie la plus basse) pourra sensiblement réduire le risque de mobilisation des contaminants et les incidences néfastes qui en découlent pour l'environnement.

## **Réaménagement des tas de résidus de lixiviation en tas**

Les déchets engendrés par la lixiviation en tas (LET) peuvent former des entassements qui doivent être remodelés pour s'intégrer convenablement au paysage et pour être conformes aux prescriptions susmentionnées en matière de stabilité géotechnique et de protection contre l'érosion.

Il peut y avoir intérêt à maintenir des réseaux de drainage pour améliorer la stabilité des tas et du modelé, ainsi que pour recueillir les eaux d'infiltration. Toutefois, le recouvrement freinera la poursuite de la lixiviation en réduisant les taux d'infiltration d'eau, empêchera la dispersion des matières radioactives due à l'érosion hydrique et éolienne, réduira les émanations de radon et empêchera l'exposition aux émissions directes de rayonnement gamma. Il pourra être nécessaire de lancer un programme de surveillance en vue de vérifier la qualité des eaux de ruissellement et d'infiltration à la surface et, le cas échéant, les eaux contaminées devront être traitées.

Dans certains cas, le transfert peut s'avérer indiqué : des déchets engendrés par la LET peuvent être utilisés comme première couverture pour les résidus de traitement s'ils possèdent des propriétés radiologiques appropriées et ne contiennent pas de matières résiduelles acidogènes. Dans le cas de L'Écarpière, en France [4], cela permet de réduire la superficie des zones devant être surveillées et soumises à des restrictions d'utilisation.

## **Déchets divers et déchets d'exploitation**

Les sites de stockage et d'évacuation des déchets divers et des déchets d'exploitation, dont il a été question précédemment, peuvent nécessiter des travaux de réaménagement selon les procédures établies pour les sites soumis à une contamination de type classique. Suivant la nature des contaminants, ces déchets peuvent être conditionnés et évacués dans des emplacements définis sur le site ou peuvent devoir être transférés vers des sites autorisés d'évacuation des déchets (dangereux).

## Références

- [1] Zgola B. (1995), *Overview of Decommissioning Policies at the Canadian Atomic Energy Control Board with examples from a Uranium Mine/mill Complex at Elliot Lake*, Conférence internationale sur la radioprotection et la gestion des déchets radioactifs dans les industries minières et de traitement des minéraux, tenue sous les auspices de l'AIRP, Johannesburg, Afrique du Sud, 20-25 février 1995.
- [2] Pollock R.W. et Feasby D.G. (1996), *Technologies for and Implementation of Environmental Restoration in Canada*, RER/9/022, Projet régional de coopération technique pour le réaménagement des sites en Europe centrale et Europe de l'Est, Troisième Atelier, Rez, République tchèque, 12-16 décembre 1994, IAEA-TECDOC-865, Vol. 3, p. 59-87.
- [3] Berthelot D. et coll. (1999), *Application of water covers, remote monitoring and data management systems to environmental management at uranium tailings sites in the Serpent River Watershed*, CIM Bulletin, Vol. P2, N° 1033, p. 70-77.
- [4] Crochon Ph. et Daroussin J.L. (1994), *Remediation of Ecarpière Uranium Tailings Pond by Cogéma (France)*, RER/9/022, Projet régional de coopération technique pour le réaménagement des sites en Europe centrale et Europe de l'Est, Troisième Atelier, Rez, République tchèque, 12-16 décembre 1994, IAEA-TECDOC-865, p. 139-152.

## 6. RESTAURATION DE LA QUALITÉ DE L'EAU

### Portée du problème

L'eau est l'une des principales voies par lesquelles la contamination peut se répandre dans l'environnement par suite des activités d'extraction et de traitement du minerai d'uranium. Les opérations classiques d'extraction, qu'il s'agisse d'exploitation à ciel ouvert ou en souterrain, nécessitent presque toujours, en raison de la présence d'eaux souterraines, le dénoyage de la zone à excaver. Divers processus peuvent entraîner la contamination de ces eaux.

De l'eau contaminée peut aussi provenir du ruissellement de l'eau à la surface des tas de stériles et des tas de minerai, ainsi que des infiltrations qui les traversent, et elle est refoulée des résidus au cours de leur processus de tassement. La radioactivité de cette eau est généralement imputable à l'uranium, au thorium, au radium et au plomb, ces éléments étant soit sous forme dissoute, soit attachés aux particules en suspension. Lorsqu'il existe de la pyrite ou d'autres minéraux sulfurés, de l'acide peut être produit au cours de leur oxydation. La production d'acide, phénomène également désigné sous le terme « d'eaux d'exhaure acides » ou « eaux d'exhaure de roches acides », est un sujet de préoccupation dans tous les types d'exploitation minière. L'acide se dissout et augmente la mobilité des métaux lourds et des métalloïdes, comme le manganèse, le fer, le nickel, le cadmium, l'arsenic ou le sélénium. Il mobilise aussi les radionucléides qui sont présents dans les minerais uranifères. Les eaux d'exhaure acides doivent être neutralisées avant de pouvoir être rejetées dans l'environnement. Les résidus d'explosifs et les produits de dégradation peuvent aussi ajouter des nitrites, des nitrates, de l'ammoniac et divers produits organiques aux eaux d'exhaure. Les fortes concentrations de sulfates et l'acide lui-même peuvent interdire le rejet des eaux d'exhaure non traitées.

Il se peut que les sites d'usines de traitement du minerai se trouvant dans des zones sèches ne produisent que peu ou pas d'effluents liquides en raison du recyclage à grande échelle des eaux de procédé. Les eaux de ruissellement s'écoulant des sites de ces usines de traitement établis dans les climats humides peuvent contenir des radionucléides et devoir être traitées avant d'être déversées dans les cours d'eau. En général, l'eau contaminée provenant des usines de traitement du minerai d'uranium est déversée dans les installations de gestion des résidus. L'eau contaminée lors des activités d'extraction et de traitement qui ne peut être réutilisée est considérée comme un déchet. La composition de ces eaux usées est fonction de la technologie de procédé et de la teneur du minerai. Le traitement des eaux doit réduire la concentration des contaminants à des niveaux qui soient conformes à la réglementation en matière de rejets du pays concerné. Néanmoins, il est nécessaire de contrôler l'eau rejetée pour s'assurer que tous les composants restent en deçà des limites réglementaires.

Le réaménagement de l'environnement de toute installation de production d'uranium devrait englober le traitement de la totalité des eaux usées connexes et la restauration de la qualité des eaux souterraines et de l'eau de surface contaminées, y compris les sédiments de fond nécessaire.

Tout programme de réaménagement débutera par une caractérisation du site et l'établissement (peut-être rétrospectivement) des conditions de point zéro, ainsi qu'il a été indiqué ci-dessus. Les activités de caractérisation peuvent devoir aller bien au-delà du site proprement dit, en vue de prendre en compte la migration des contaminants ou la possibilité qu'une telle migration se produise.



En ce qui concerne les aquifères et les cours d'eau en surface, les objectifs de qualité seront fixés conformément aux plans d'utilisation des sols, tant à court terme qu'à long terme, et aux prescriptions réglementaires nationales.

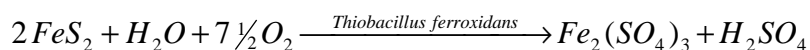
Cette évaluation globale de la qualité de l'eau permettra de déterminer le degré de traitement et de réaménagement requis.

Les technologies de traitement sont choisies en fonction de la nature des contaminants, de leur concentration dans les eaux usées non traitées et de leur concentration maximale admissible dans l'effluent final. Le traitement des effluents miniers a pour objectif général de parvenir à une qualité acceptable des eaux de rejet et à de faibles volumes de résidus.

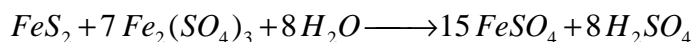
### Contaminants classiques contenus dans les eaux touchées par l'extraction et le traitement du minerai d'uranium

La lixiviation biologique de l'uranium se produit naturellement du fait que les eaux de pluie et les eaux de ruissellement circulent à travers les surfaces rocheuses des mines d'uranium à ciel ouvert ou en souterrain. Les procédés bio-géochimiques sont interdépendants et font intervenir les principales réactions suivantes :

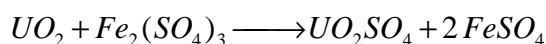
- L'oxydation bactérienne de la pyrite :



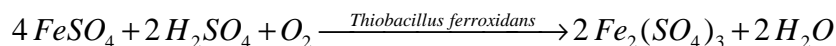
- L'oxydation chimique de la pyrite par le sulfate ferrique :



- L'oxydation et la solubilisation chimiques de l'uranium par le sulfate ferrique :



- La réoxydation bactérienne du sulfate ferreux :



Les autres micro-organismes que l'on trouve dans ces eaux et qui interviennent dans les réactions d'oxydoréduction et à base acide correspondantes sont le *Thiobacillus thiooxidans* et le *Thiobacillus acidophilus*.

Selon les divers procédés de traitement du minerai uranifère, différents composants chimiques peuvent être rejetés dans l'environnement sous forme d'effluents liquides :

- Bicarbonates                      En raison de l'adjonction de chaux dans le procédé de neutralisation.
- Sulfates                              Provenant de l'oxydation de la pyrite et autres stériles sulfurés, ainsi que des résidus de la lixiviation en tas.
- Chlorures                            Agent décapant dans les procédés d'extraction par solvant et provenant du lavage à contre-courant des résines échangeuses d'ions.

- Nitrates Résidus des explosifs utilisés pour le dynamitage des roches.  
Fertilisants utilisés pour la restauration du couvert végétal.  
Oxydation (biochimique) des nitrites ou de l'ammoniac (voir ci-dessous).
- Nitrites et ammonium Dégradation des polluants organiques et eutrophisation des eaux stagnantes (toutefois, les nitrites s'oxydent facilement).
- Calcium Résidu provenant de l'adjonction de chaux.
- Sodium Utilisé dans les procédés d'extraction par solvant ou d'échange d'ions comme agent décapant (NaCl).
- Fer Provenant en particulier de l'oxydation de la pyrite (FeS<sub>2</sub>) et d'autres sulfures ferreux, de la dissolution de la sidérose par les eaux d'exhaure acides et de l'altération superficielle de divers minéraux dans les déchets.
- Manganèse Se formant naturellement à partir de divers procédés d'altération superficielle mais est également ajouté, en tant qu'oxydant, dans certains procédés de lixiviation.

### Prescriptions réglementaires concernant la restauration des eaux souterraines et le rejet des eaux de surface dans différents pays exploitant des mines d'uranium

En général, le traitement des effluents contaminés des mines et usines de traitement du minerai est obligatoire. Les lois et les réglementations nationales prévoient des critères de rejet pour les effluents. Les limites de concentration maximale admissible applicables à chaque contaminant varient toutefois d'un pays à l'autre. Le tableau figurant ci-dessous donne des exemples de limites de concentration des effluents dans certains pays.

Quelques pays ont défini des limites spécifiques de concentration ou d'activité des radionucléides pour les rejets d'eaux de surface provenant des installations d'extraction et de traitement du minerai d'uranium et pour la restauration des eaux souterraines. Cependant, il arrive souvent que les normes de qualité de l'eau de boisson soient appliquées aux eaux d'exhaure rejetées en tant que limites maximales admissibles de rejet [1].

Tableau 6.1. Exemples de limites nationales de concentration des effluents

Pays	Contaminants réglementés									
	U <sub>nat</sub>	<sup>226</sup> Ra	Pb	Zn	Cu	Ni	As	SO <sub>4</sub>	Cl	pH
	mg.l <sup>-1</sup>	Bq.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	
Allemagne	0,2-0,5	0,2-0,4					0,1-0,3	2 500-7 500	1 000-1 500	6,5-8,5
Espagne			0,2	3	0,2	2	0,5	2 000	2 000	5,5-9,5
États-Unis		0,18	0,015	5	1,0		0,05	250	250	6,5-8,5
France	1,8	0,37					0,1	2 000		6,5-9
Rép. tchèque	0,1	0,3	0,1	0,2	0,1	0,15	0,1	300	350	6-9

Pour établir les limites de concentration admissible des effluents, il faut prendre en considération les facteurs suivants :

- La nature de l'effluent à traiter, et notamment :
  - les eaux d'exhaure acides ;
  - les eaux de ruissellement provenant des tas de minerai, de la zone de l'usine de traitement et des tas de stériles ;
  - les effluents provenant des bassins de décantation des résidus.
- La concentration des contaminants dans l'effluent final :
  - les radionucléides (uranium naturel, radium 226 et thorium 230) ;
  - la quantité annuelle d'activité rejetée.
- Le débit et le facteur de dilution des effluents :
  - la concentration maximale admissible du constituant présentant de l'intérêt dans le cours d'eau ;
  - la concentration du fond naturel de rayonnement du cours d'eau récepteur ;
  - l'évaluation des modifications saisonnières dans la concentration des radionucléides produits par la lixiviation des gisements et des zones minéralisées naturellement exposés.
- Les normes de qualité de l'eau fixées pour le rejet :
  - les recommandations internationales ;
  - les directives nationales ;
  - et les règlements spécifiques devraient être observés à titre de référence.
- Les doses délivrées à la population :

compte tenu des limites applicables aux personnes du public ou aux groupes critiques, telles qu'elles sont stipulées dans les réglementations nationales et internationales, il sera nécessaire de fixer un objectif de dose à des fins de planification.

## **Démarche générale à l'égard du traitement des effluents des mines d'uranium**

### ***Critères techniques***

Les critères de conception des usines de traitement des eaux sont dictés, en premier lieu, par la nature de l'effluent à traiter, c'est-à-dire par le type et la concentration de contaminants, ainsi que par les débits y afférents, par rapport aux objectifs de qualité recherchés. Toutefois, en plus de ces exigences de base, il faut aussi tenir compte des considérations coût/avantages liées à des facteurs comme la concentration du fond naturel de rayonnement des eaux de surface dans lesquelles les effluents seront rejetés, du classement officiel de qualité d'eau des eaux de surface réceptrices et de la réduction du volume de résidus.

De nombreuses techniques de traitement sont aptes à atteindre des concentrations qui sont bien en dessous du fond naturel de rayonnement des masses d'eaux de surface réceptrices et il peut être superflu de prescrire des limites de concentration pour le rejet des effluents. Selon le classement de qualité d'eau des eaux réceptrices, les limites de concentration de contaminants, tels que les sulfates,

les chlorures, le fer, le calcium et le magnésium, peuvent être établies à l'intérieur de certains paramètres. Cependant, il peut être nécessaire de prendre en compte l'accumulation de contaminants, comme les métaux lourds et les radionucléides, dans les sédiments de fond.

Le concept technique d'un procédé spécifique de traitement des eaux tient compte du fait que, pendant le déclassement et le réaménagement, les volumes et les niveaux de concentration d'effluents contaminés varient au fil du temps. Cette évolution peut exiger différentes techniques et des usines de différentes tailles pour les diverses phases de la procédure de déclassement et de réaménagement.

Le traitement de volumes importants d'eau contaminée ( $>50 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ) se fonde actuellement (et sans doute encore pour un certain temps) sur des procédés chimiques classiques. Dans le cas de faibles volumes d'eau contaminée (par exemple, les eaux d'infiltration provenant des tas de stériles recouverts), l'idéal serait d'appliquer des procédures autorégulées de légère maintenance qui nécessitent un minimum de supervision et de participation humaines. Des techniques, telles que le traitement biologique des terrains marécageux ou le traitement passif par des barrières réactives, pourraient présenter un certain intérêt pour l'avenir.

### ***Gestion et évacuation des résidus***

L'aspect lié à la manipulation et au stockage des boues et autres résidus revêt de l'importance lorsqu'il s'agit d'élaborer un plan conceptuel pour le traitement des effluents des mines et usines de traitement de l'uranium. Les procédés de traitement sont conçus pour concentrer et isoler les contaminants radioactifs et chimiques. Afin d'assurer une évacuation en toute sécurité, il peut être nécessaire d'immobiliser davantage les contaminants. Les résidus et les boues provenant du traitement doivent être évacués dans une installation appropriée d'évacuation des déchets radioactifs autorisée à accepter ces matières.

Sous réserve que les conditions d'autorisation relatives au site le permettent, cette opération peut s'effectuer soit dans un bassin de décantation des résidus sur le site, soit dans un dispositif d'évacuation des déchets de faible activité en structures ouvragées. Selon le cas, il peut être nécessaire de transporter les matières dans une installation appropriée située en dehors du site. En règle générale, des prescriptions plus strictes en matière d'assainissement signifient que des volumes plus importants de résidus seront produits et, ainsi, qu'il faudra disposer d'une plus grande capacité de stockage sûr. Comme aussi bien l'immobilisation des résidus que la construction et l'autorisation de structures d'évacuation adéquates sont onéreuses, il importe de choisir la technique qui permet de réduire au mieux le volume de résidus, tout en respectant les normes d'assainissement requises. Les analyses coût-avantages aident à trouver une solution optimale qui réponde aux exigences concernant non seulement les niveaux de contamination les plus faibles qu'il soit raisonnablement possible d'atteindre dans les effluents, mais aussi le coût de l'évacuation des résidus.

Sous réserve que les conditions d'autorisation le permettent, une aire d'évacuation sur le site intégrée à l'installation de gestion des résidus peut être construite à l'aide des matériaux provenant de la mise en place du recouvrement définitif. On peut envisager un système d'évacuation en souterrain dans une section des chantiers souterrains prévue à cet effet, à condition que celui-ci soit suffisamment isolé.

## **Techniques de traitement des eaux**

Les techniques de traitement des eaux font appel à différents procédés chimiques, physiques et biologiques pour en extraire les contaminants. La méthode choisie dépend des caractéristiques chimiques de l'eau à traiter, de son volume, des concentrations d'effluents prescrites, des exigences concernant les résidus à évacuer et du coût global de la procédure.

Le présent chapitre résume les méthodes les plus courantes et certaines des méthodes les moins classiques employées pour la fermeture et le réaménagement des mines d'uranium.

### ***Méthodes de précipitation***

Les méthodes le plus largement utilisées pour le traitement des effluents aqueux des mines et usines de traitement de l'uranium se fondent sur la précipitation. Elles sont appliquées depuis que le traitement industriel du minerai d'uranium a débuté à la fin des années 40. Les méthodes de précipitation sont très efficaces car elles utilisent de faibles quantités de produits chimiques et leurs coûts sont peu élevés. Leur inconvénient est de produire des volumes importants de résidus.

Il conviendrait de noter que, du point de vue physico-chimique, il est souvent difficile d'établir une distinction entre la précipitation, la coprécipitation, et l'adsorption. Chacun de ces trois procédés – à un degré divers – est à même de contribuer à réduire la concentration d'ions d'une solution.

### ***Traitement à la chaux***

Le traitement à la chaux est la méthode choisie pour traiter les eaux acides issues de toutes les usines de traitement de l'uranium où l'acide sulfurique sert à lixivier le minerai pour en extraire l'uranium. La chaux sert aussi à traiter les eaux d'exhaure acides, ainsi que les eaux surnageantes et d'infiltration provenant des résidus d'usines de traitement de l'uranium et d'autres installations d'évacuation.

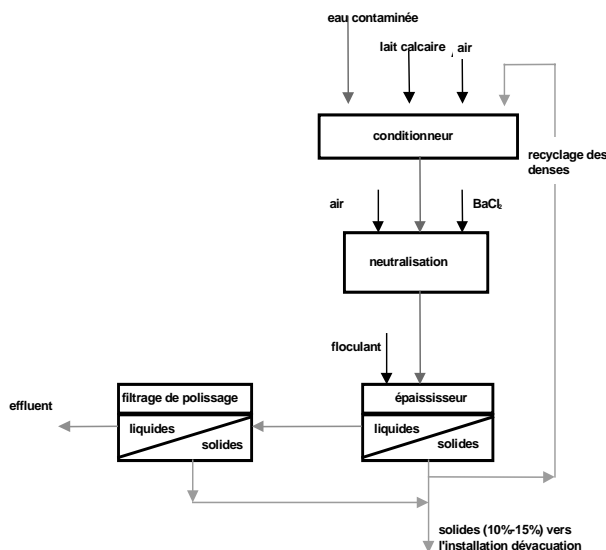
Dans le traitement à la chaux, un lait constitué de 15 à 20 % de boues calcaires (hydroxyde de calcium) est ajouté à l'effluent acide. En général, on ajoute suffisamment de boues calcaires pour élever le pH jusqu'à 10. Pour agiter le tout et oxyder le fer ferreux, on insuffle de l'air trivalent contenant du manganèse et de l'arsenic dans les bassins de précipitation. Au cours de la procédure, le gypse et la plupart des métaux sont (co)précipités en tant que sulfates ou qu'hydroxydes. L'uranium précipite comme diuranate de calcium. Les solides et les liquides se séparent en passant à travers des épaisseurs. Les concentrations résiduelles de métal dans la surverse d'épaisseur sont suffisamment faibles pour respecter les réglementations relatives aux rejets d'effluents en vigueur dans la plupart des pays. Avant le rejet final, il conviendrait de rajuster le pH de l'effluent pour le ramener à une valeur comprise entre 6 et 8. À cet effet, il pourra être nécessaire d'ajouter de l'acide sulfurique ou hydrochlorique dilué. La sous-verse d'épaisseur, qui contient les précipités de métaux, est stockée dans une structure d'évacuation.

Vu sa nature non sélective, le procédé de traitement à la chaux est aussi appelé « procédé de neutralisation en vrac ». Il a tendance à engendrer un grand nombre de produits de précipitation qui sont difficiles à assécher. Les procédés classiques de neutralisation en vrac où la chaux est ajoutée en une seule fois et où aucun solide n'est à recycler, produisent des densités ne contenant normalement pas plus de 2 % de solides. Cette faible densité peut être acceptable dans une usine de production d'uranium qui dispose aussi d'un bassin de décantation des résidus, où la séparation des solides et des

liquides peut se poursuivre avec le temps et à partir duquel les liquides peuvent être recyclés vers l'usine et employés en tant qu'eau de procédé. Toutefois, après le déclassement d'une usine, il se peut que le bassin de décantation des résidus ne soit plus disponible et que les résidus doivent être conditionnés de manière à occuper le moins d'espace possible. La nécessité de réduire au minimum le délai de réalisation de l'opération peut représenter une contrainte supplémentaire. Un dénoyage forcé peut donc s'imposer. On y parvient soit en répandant la sous-verse d'épaississeur de faible densité sur des filtres à tambour ou à disque, soit en la faisant passer à travers des centrifugeuses, mais les coûts d'investissement et d'exploitation afférents à chaque procédé sont élevés. Il conviendrait donc de maximiser la densité de la sous-verse d'épaississeur dans toute la mesure du possible. Une analyse minutieuse coût/avantages contribuera également à contrebalancer les diverses contraintes.

Afin d'accroître les densités de la sous-verse d'épaississeur, il y aurait lieu d'optimiser les caractéristiques du produit de précipitation. L'expérience a montré que l'addition de chaux en plusieurs étapes et le recyclage des solides offrent la meilleure solution pour améliorer les caractéristiques des solides, ce qui augmente ultérieurement le rendement de l'épaississeur. Dans le procédé dit « traitement à haute densité des boues » (*high-density sludge process – HDS*), jusqu'à 90 % des denses d'épaississeur sont recyclés vers un conditionneur au début du stade de neutralisation en vrac [2]. Dans ce conditionneur, on mélange les denses à des eaux douces contaminées, puis on ajoute le lait calcaire pour élever le pH jusqu'à environ 4,0. À leur sortie du conditionneur, les boues passent par gravité à travers une série de cuves où l'air est agité et où une quantité supplémentaire de lait calcaire est ajoutée pour élever encore le pH. En principe, on élève le pH jusqu'à 10 ; s'il faut enlever du magnésium, une nouvelle addition de chaux pour atteindre un pH de 11,5 entraînera une précipitation d'hydroxyde de magnésium. Tout épaississeur bien choisi fera augmenter la densité des solides. Dans le procédé HDS, les denses peuvent contenir jusqu'à 15 % de solides. Le schéma fonctionnel de ce procédé est reproduit ci-dessous [3]. La même précipitation peut être provoquée avec de l'hydroxyde de sodium, mais la quantité de boues produites est plus grande.

Figure 6.1. Schéma fonctionnel du procédé du traitement à haute densité des boues (HDS)



### Traitement au chlorure ferrique

Bien que l'arsenic présent soit en grande partie précipité en tant qu'arséniat de calcium au cours de la neutralisation en vrac, la concentration résiduelle de l'arsenic dissous reste en général supérieure

aux limites acceptables de rejet. Pour ramener l'arsenic aux concentrations requises, on ajoute une solution à base de chlorure ferrique aux boues pendant la neutralisation en vrac. Le chlorure ferrique ( $\text{FeCl}_3$ ) contribue de deux façons à éliminer l'arsenic : d'une part, le fer se mêle à l'arséniate ( $\text{AsO}_4^{3-}$ ) pour former de l'arséniate ferrique ( $\text{FeAsO}_4$ ), précipité très peu soluble ; pour que cette réaction se produise, l'arsenic doit être pentavalent et le pH doit être strictement inférieur à 7 ; d'autre part, les espèces arséniques sont éliminées de la solution par coprécipitation sur les produits d'hydrolyse du fer ferrique qui forment de très gros volumes de précipitats ; les hydroxydes ferriques comportent une vaste surface réactive et sont capables d'absorber diverses espèces ioniques, y compris l'arsenic, les métaux lourds et les radionucléides. Le traitement au chlorure ferrique peut efficacement réduire la concentration d'arsenic à moins de  $0,1 \text{ mg.l}^{-1}$ .

### *Traitement au chlorure de baryum*

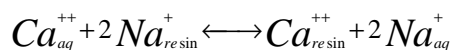
Le traitement au chlorure de baryum est largement utilisé dans l'industrie de l'uranium pour éliminer le radium dans les mines en exploitation, de même qu'à des fins de traitement des eaux contaminées provenant des sites déclassés. Il est facile d'obtenir des concentrations de radium inférieures à  $0,3 \text{ Bq.l}^{-1}$ , conformément aux prescriptions visant les effluents des mines et usines de traitement dans la plupart des pays.

Si les eaux contaminées contiennent des ions de sulfate, comme c'est le cas soit de la quasi-totalité des effluents issus de la lixiviation par voie acide, soit des eaux d'exhaure acides, le radium peut être facilement éliminé par adjonction de chlorure de baryum. Le sulfate de baryum a une faible solubilité et précipite facilement, coprécipitant le radium en même temps que  $(\text{BaRa})\text{SO}_4$ . La réaction de précipitation donne les meilleurs résultats si les valeurs du pH se situent entre 6 et 8. Il suffit d'ajouter de 30 à 60 milligrammes de  $\text{BaCl}_2$  par litre pour éliminer 95 à 99 % du radium. Le précipité de sulfate de baryum/radium est cristallin, encore que, compte tenu de la brièveté du processus, seuls de très petits cristaux puissent se développer et ceux-ci se déposent lentement. Ces derniers sont difficiles à retenir par filtration. La pratique courante est donc de coprécipiter le radium avec d'autres espèces plus importantes, notamment au cours de la neutralisation en vrac ou en même temps que la précipitation de l'arsenic par le chlorure ferrique.

### *Échange d'ions*

L'échange d'ions est une technique bien connue pour traiter les eaux. Elle fait appel à des solides organiques ou inorganiques qui ont un site chimiquement réactif ou des groupes fonctionnels possédant des charges ioniques négatives ou positives lorsqu'ils se dissocient. À juste titre, on distingue, parmi les résines échangeuses d'ions, les échangeurs de cations (lorsqu'elles sont chargées négativement) et les échangeurs d'anions (lorsqu'elles sont chargées positivement). Des ions déplaçables de charge opposée (contre-ions) sont attachés aux groupes réactifs, c'est-à-dire que les échangeurs sont « chargés ».

L'échange d'ions est une réaction réversible par laquelle les contre-ions se trouvant sur la résine sont échangés contre des ions dissous du même signe de charge électrique. Comme exemple d'échange de cations, on pourrait citer la réaction bien connue de l'adoucissement de l'eau :



La réaction d'échange est induite par la concentration (activité) relative des ions concurrents, leur charge électrique et leur affinité relative pour le site d'échange en question. Leur affinité est notamment fonction du rayon ionique et de la nature chimique du groupe réactif de la résine.

Lorsque les résines sont « usées », autrement dit chargées des ions qui doivent être retirés de la solution, il est possible de récupérer ces ions en « régénérant » les résines par lavage à contre-courant, notamment au moyen d'acides forts. Le contre-ion obtenu en l'occurrence est le ion  $H^+$ , qui a en général l'affinité la plus marquée pour les lieux d'échange.

La plupart des échangeurs d'ions utilisés dans l'industrie se fondent sur des résines synthétiques, mais des substrats inorganiques, tels que les zéolites, sont également employés. Il est possible de se procurer des informations techniques détaillées auprès des fournisseurs commerciaux d'échangeurs d'ions.

Comme la technique de l'échange d'ions est relativement onéreuse, son application est limitée à des cas spéciaux impliquant soit une haute efficacité, soit la séparation d'un ou de plusieurs contaminants spécifiques. Les résines échangeuses d'ions sont tout indiquées, en particulier si le contaminant dissocié doit être utilisé par la suite ou être stocké séparément.

L'échange d'ions est ou a été utilisé couramment pour retirer l'uranium des effluents de bassins de décantation des résidus dans l'ex-bloc des pays de l'Est. L'échange d'ions destiné à éliminer l'uranium, par exemple, est employé à l'usine de traitement des eaux exploitée par WISMUT à Helmsdorf, en Allemagne [3]. Il est également utilisé à Lodève, en France, pour traiter l'eau provenant d'un bassin de décantation des résidus de traitement de l'uranium désaffecté, comme mesure préalable à son réaménagement final et, au Portugal pour traiter les effluents des mines.

### *Adsorption d'ions*

Du point de vue physico-chimique, l'adsorption d'ions est analogue à l'échange d'ions, si ce n'est qu'aucune régénération n'y est envisagée. Les contaminants dissous sont adsorbés sur la surface réactive d'un adsorbant approprié. Par exemple, un polymère spécifique de l'uranium et très lourd en molécules (poids moléculaire supérieur à 200 000), le GOPUR 3000 [4], a été mis au point en Allemagne pour retirer l'uranium des effluents. On en ajoute comme solution acide diluée (normalement 2 %) aux eaux contaminées. À des valeurs de pH comprises entre 4 et 11, le polymère reste insoluble dans l'eau et précipite pour former de volumineux flocons, dont la surface réactive peut adsorber l'ion d'uranyle ou, en fait, réaliser sa complexation. Le floculant chargé peut être retiré de l'eau par des techniques classiques de séparation des solides et des liquides.

S'il n'est pas nécessaire d'extraire l'uranium ou d'autres contaminants à des fins d'utilisation ultérieure, la technique de l'adsorption d'ions est très avantageuse du point de vue de l'exploitation et des coûts par rapport à celle de l'échange d'ions. Étant donné que l'uranium et le polymère chargé peut être dissocié au moyen de techniques classiques de séparation des solides et des liquides, ce type de traitement des eaux peut fonctionner sans interruption. Les colonnes échangeuses d'ions nécessitent des opérations périodiques de décapage, de régénération et de lavage. Cela majore les coûts d'investissement, d'exploitation et de gestion.

### *Stratégies préventives*

Les stratégies préventives ont pour objet d'éviter la production d'effluents acides provenant des mines (déclassées) et des installations de gestion des déchets, ainsi que de réduire le terme source relatif aux contaminants. Lors de la fermeture d'une mine et de la mise hors service des installations



de traitement des déchets, il conviendrait d'accorder la priorité aux stratégies préventives dans toute la mesure du possible. Ces stratégies poursuivent l'un ou plusieurs des objectifs suivants :

- limiter l'apport d'oxygène ;
- limiter les infiltrations d'eau ;
- limiter la circulation de l'eau ;
- et, partant, réduire la production d'acide et le terme source relatif aux contaminants.

Bien que ces objectifs soient les mêmes pour les mines en souterrain et à ciel ouvert, les tas de stériles et les bassins de décantation des résidus, les mesures techniques proprement dites peuvent différer.

### *Installations souterraines*

Les stratégies préventives applicables aux mines en souterrain se composent de trois éléments :

- La *gestion active* de la qualité de l'eau dans les différentes parties de la mine en évitant le mélange d'eau de bonne et de mauvaise qualité.
- Le *noyage* des chantiers de mines à ciel ouvert peut s'avérer inévitable dès lors que les systèmes de drainage ont été déclassés. Il a pour avantage d'empêcher l'accès d'oxygène atmosphérique, et les réactions d'oxydation des sulfures s'arrêteront une fois que l'oxygène dissous dans l'eau aura été consommé. Le noyage peut soit se dérouler naturellement, soit être intensifié par les eaux de procédé (neutralisées).
- Le *noyage* ne peut atteindre son objectif que si la circulation des eaux souterraines dans les chantiers de mines à ciel ouvert est limitée par *réduction de la perméabilité* et/ou par *isolation hydraulique* de la mine. Il s'agit en l'occurrence de limiter l'apport d'oxygène en limitant la quantité d'eau circulant à travers la mine et d'éviter des changements dans la nappe phréatique qui feraient entrer de l'air dans la mine.

Parmi les mesures techniques susceptibles de s'imposer figurent notamment :

- le scellement des puits, des trous de sondage et autres dispositifs d'accès ;
- le scellement des zones de fractures et de fissures ;
- l'endiguement de différentes parties de la mine en vue d'empêcher la circulation.

La mise en place d'un environnement géochimique qui limite la migration des contaminants peut être favorisée par des remblayages chimiquement actifs, comme l'expérience en a été faite à la mine de Königstein, en Saxe, ou par l'installation de barrières réactives en amont.

### *Bassins de stockage en surface des déchets, y compris des résidus*

Les stratégies préventives couramment appliquées aux bassins de stockage en surface comprennent notamment :

- le détournement des eaux de surface par des canaux ;

- la limitation des infiltrations dues aux précipitations atmosphériques par un recouvrement ;
- le dépôt sélectif des déchets en vue de favoriser les réactions de neutralisation, par exemple, ou de limiter l'accès des eaux d'infiltration ;
- la mise en place d'intercouches réactives, composées par exemple de calcaire concassé, en vue de contrôler le pH ;
- des mesures en faveur de l'instauration de conditions anoxiques qui consistent à ajouter des milieux de prolifération bactérienne, comme des engrais ou des copeaux de bois.

### *Mines à ciel ouvert*

Les techniques préventives les plus courantes sont :

- les serrements en argile afin d'empêcher les infiltrations dans les couches sous-jacentes ;
- le chaulage afin d'élever les valeurs du pH ;
- le scellement des trous de sondage afin d'empêcher les infiltrations dans les couches sous-jacentes ;
- le remblayage afin d'éviter l'accumulation de ruissellements de surface.

### **Traitement des eaux souterraines issues de l'exploitation par lixiviation *in situ***

L'exploitation par lixiviation *in situ* (LIS) ou par dissolution est le procédé consistant à extraire l'uranium en injectant des solutions réactives par l'intermédiaire de puits dans un corps minéralisé saturé d'eau et à récupérer les solutions enrichies par l'intermédiaire d'autres puits, après qu'elles aient traversé la formation hôte et dissous le minerai d'uranium. La solution uranifère est ensuite remontée par pompage vers une installation en surface, où l'uranium est récupéré à partir de la solution, notamment par échange d'ions.

Comme dans le cas des autres activités minières, la planification et l'exploitation du procédé d'extraction de l'uranium par LIS dépendent dans une large mesure des conditions propres au site de chaque gisement uranifère. Parmi les principaux facteurs techniques à prendre en compte figurent les caractéristiques du minerai et les propriétés minéralogiques et hydrogéologiques de l'aquifère hôte, ainsi que la qualité de l'eau. Il faut tenir compte des utilisations courantes de l'aquifère, telles que le prélèvement d'eau potable, et de toute restriction d'ordre administratif, comme les zones de protection des eaux souterraines.

Pour l'exploitation par LIS, on a recours à deux systèmes différents, à savoir la lixiviation par voie acide et la lixiviation par voie alcaline. Les systèmes par voie acide utilisent en général de l'acide sulfurique mais, dans l'ancienne Allemagne de l'Est, on a utilisé pendant un certain temps un mélange d'acide nitrique et sulfurique qui était disponible sous forme de déchet. L'acide sulfurique non seulement solubilise les ions métalliques mais il joue aussi le rôle d'oxydant. Les systèmes à l'acide sulfurique font intervenir aussi bien de l'acide fortement concentré, comme celui employé à Straz, en République tchèque, que de très faibles concentrations, comme celles actuellement utilisées pour certains projets dans l'Ouzbékistan. Les systèmes par voie alcaline font principalement appel à l'oxygène atmosphérique en tant qu'oxydant et au carbonate en tant que complexant.

Jusqu'à une date récente, les systèmes par voie acide n'étaient utilisés que dans la Communauté d'Etats indépendants (CEI), en Europe centrale et orientale. À la fin des années 90, la lixiviation acide a été soumise à des essais et elle est désormais utilisée en Australie.

Aux États-Unis, on n'utilise que les systèmes par voie alcaline pour des raisons liées à l'environnement et du fait de la teneur en carbonate des roches hôtes.

Les régimes réglementaires et les prescriptions relatives à la restauration des eaux souterraines diffèrent dans chacun des pays. Sur les sites se trouvant en Australie, la stratégie adoptée exige le contrôle et la surveillance des eaux souterraines. Cependant, la restauration des eaux souterraines n'est pas requise car le niveau de qualité de l'eau de point zéro préexistant à l'exploitation est assez faible en raison de la teneur très élevée en sel. En outre, les sites se trouvent dans des régions écartées où ne réside pas de population permanente. Aux États-Unis, les eaux souterraines doivent être rétablies à leur niveau de qualité avant l'exploitation minière. À cet effet, on a recours à une stratégie fondée sur la technique du pompage et du traitement, complétée par d'autres méthodologies. Dans les zones minières à forte densité de population proches de Straz, en République tchèque, et à Königstein, en Allemagne, où l'on a pratiqué la lixiviation en gradins *in situ* par voie acide, les solutions acides résiduelles sont remontées par pompage à la surface à des fins de traitement et de rejet ou de réinfiltration.

Dans les pays d'Asie centrale, la plupart des sites d'exploitation minière par LIS sont situés dans des régions écartées à faible densité démographique. Bon nombre des mines sont installées dans des aquifères où le niveau de qualité de l'eau est faible en raison de la forte teneur en sel. Dans la plupart de ces sites miniers, on compte sur l'atténuation naturelle pour contrôler les solutions résiduelles issues de la LIS.

Plusieurs de ces stratégies et techniques de restauration de la qualité sont décrites plus en détail dans les sections suivantes du présent rapport. En outre, l'AIEA a consacré un rapport spécial à cette question [5].

## **Études de cas**

Les études de cas suivantes décrivent les méthodes utilisées pour traiter l'eau contaminée provenant des mines d'uranium, des bassins de décantation des résidus et d'autres installations de gestion des déchets.

### ***Australie***

#### *Élimination des radionucléides et autres espèces dissoutes dans un système naturel de terres inondables*

La mine d'uranium de Ranger est située dans la région tropicale du nord de l'Australie. La mine et l'usine de traitement produisent diverses qualités et quantités d'eaux usées, dont une partie doit être traitée avant d'être rejetée dans l'environnement. Le système de gestion des eaux d'exhaure comprend différents bassins de retenue des eaux qui, pendant la saison humide, collectent les écoulements d'eaux de pluie provenant des tas de stériles se trouvant à l'intérieur de la zone du projet. En vue de traiter ces eaux, la Société pour les ressources énergétiques de l'Australie [*Energy Resources of Australia Ltd. – ERA*] a construit et entretient un filtre constitué de terrains marécageux dans l'aire de drainage du

bassin de décantation N°1 sur le chantier de la mine. Des recherches ont été menées à deux reprises pour évaluer son efficacité à éliminer les radionucléides : la première fois en 1989-1990 (avec des eaux usées provenant des eaux de ruissellement des tas de stériles propres collectées dans l'ancien bassin de décantation N°4) et la seconde fois en 1995-1996 (avec des eaux usées provenant des eaux de ruissellement des tas de minerai et de la zone de l'usine de traitement collectées dans le bassin de décantation N°2).

Il s'agissait de mettre au point une technique « naturelle » apte à fournir une eau d'une qualité permettant de la rejeter en toute sécurité dans l'environnement, de déterminer les facteurs de nature à jouer sur les effets bénéfiques du filtre et, enfin, d'étudier les propriétés chimiques des sédiments qui se déposent au cours du filtrage par les terrains marécageux et de les mettre en corrélation avec les critères de rendement. Les eaux traitées ont été irriguées sur des terrains de brousse non perturbés à l'intérieur des limites de la concession minière. Le rejet direct des eaux dans le système de ruisseaux n'étant pas acceptable pour toutes les parties prenantes, il n'a pas été autorisé.

**Tableau 6.2. Concentrations approximatives de certains solutés pendant la saison humide dans le bassin de décantation N°4 de la mine d'uranium de Ranger et dans les eaux du fond naturel régional du ruisseau Magela**

Lieu	SO <sub>4</sub> (mg.l <sup>-1</sup> )	Cl (mg.l <sup>-1</sup> )	Ca (mg.l <sup>-1</sup> )	Mg (mg.l <sup>-1</sup> )	I (µg.l <sup>-1</sup> )	Br (µg.l <sup>-1</sup> )
Bassin de décantation N°4	260	10	6	80	170	380
Ruisseau Magela	0,5	2,6	0,4	0,7	3	20

Lieu	Re (µg.l <sup>-1</sup> )	Mn (µg.l <sup>-1</sup> )	U (µg.l <sup>-1</sup> )	<sup>226</sup> Ra (Bq.l <sup>-1</sup> )	pH
Bassin de décantation N°4	50	120	140	0,3	7,5
Ruisseau Magela	< 0,1	2	0,1	0,006	6,0

### **Conception et performances de l'installation de traitement**

Le filtre naturel de terrains marécageux comprend une zone de ruissellement pluvial en nappe et un billabong (sorte de lac de bras mort ou de bayou qui sert de point d'eau saisonnier) afin d'assurer une amélioration de la qualité de l'eau des effluents par le retrait des éléments nutritifs, l'augmentation du pH, l'élimination des solides en suspension et l'adsorption des métaux lourds et des radionucléides. Ce système, qui a été lancé à titre expérimental en 1989-1990, a subi en 1995 des modifications qui ont consisté à accroître la hauteur de l'endiguement et à excaver plus avant une halde d'argile désaffectée. À l'heure actuelle, le filtre comprend huit cellules de différentes tailles d'une surface totale d'environ 56 000 m<sup>2</sup> et d'un volume de 45 000 m<sup>3</sup>. La voie d'écoulement minimal efficace est d'environ 1 240 m.

Ce système contribue efficacement à l'élimination du manganèse et de l'uranium (respectivement à raison de 96 et de 54 % au cours de la saison sèche de 1995). L'élimination du radium n'est pas importante dans le *billabong*, mais les processus survenant au cours du ruissellement pluvial des nappes pourraient être à l'origine d'une réduction des concentrations d'un facteur d'environ 2. Le

filtre n'est pratiquement d'aucune efficacité pour le retrait du magnésium et du  $\text{SO}_4^{2-}$ ; de même, d'autres solutés comme le calcium, l'iode et le brome ne sont pas éliminés.

Le tableau ci-dessous présente des données moyennes comparatives pour chaque cellule afin d'illustrer l'efficacité du filtre de terrains marécageux eu égard à l'élimination de certains contaminants.

Tableau 6.3. **Données analytiques moyennes pour l'ensemble des sites échantillonnés**

Site	Distance de l'entrée (m)	Mn soluble ( $\mu\text{g.l}^{-1}$ )	Particules de Mn ( $\mu\text{g.l}^{-1}$ )	U soluble ( $\mu\text{g.l}^{-1}$ )	Particules d'U ( $\mu\text{g.l}^{-1}$ )	Fe soluble ( $\mu\text{g.l}^{-1}$ )	Particules de Fe ( $\mu\text{g.l}^{-1}$ )
Entrée sur terres marécageuses	0	273,9	29,1	709	10,9	18,5	96
Sortie de cellule N°1	127	253,0	30,8	677	10,1	22,3	80
Sortie de cellule N°2	257	164,8	27,9	615	11,3	19,1	83
Sortie de cellule N°3	295	137,5	15,1	575	7,8	22,1	78
Sortie de cellule N°4	615	64,8	15,6	479	5,2	20,8	52
Sortie de cellule N°5	685	63,0	7,0	420	8,5	47,6	121
Sortie de cellule N°6	828	44,7	7,1	417	4,1	45,7	98
Sortie de cellule N°7	1 068	25,8	4,8	334	3,1	39,9	84
Sortie de cellule N°8	1 298	9,9	2,5	324	2,8	30,0	139
Année	Efficacité de l'élimination du Mn			Efficacité de l'élimination de l'U			
1995	96 %			54 %			
1996	84 %			78 %			

#### *Autres aspects pertinents*

Les chutes de pluie constituent l'un des facteurs les plus importants à prendre en compte lorsqu'on utilise des terrains marécageux comme filtres pour le traitement des eaux. Les résultats des échantillons prélevés après des averses laissent supposer que l'uranium et le radium se sont remis en mouvement.

Compte tenu de la chimie complexe de l'uranium, le mécanisme de retrait de l'uranium ne peut pas être confirmé avec la même confiance que dans le cas du manganèse. Il y a lieu de souligner la forte dépendance à l'égard du temps de rétention, lorsqu'il s'agit de l'élimination de l'uranium. Même si des valeurs élevées du pH devaient atténuer l'efficacité des terrains marécageux, cela ne constitue pas un facteur critique pour les concentrations d'uranium observées.

Les sédiments déposés sont moyennement ou légèrement acides, ont une capacité d'échange de cations de très faible à modérée et sont pauvres en produits organiques. Le système s'avère certes efficace pour retirer le manganèse et l'uranium mais, du fait qu'il vient juste d'être construit et qu'il est très néant n'a pas atteint un état d'équilibre en ce qui concerne les procédés biotiques et le recyclage des matières biologiquement dérivées. On s'attend à ce que l'efficacité opérationnelle continue de s'améliorer avec le temps.

Il faut aussi veiller à gérer le filtre de terrains marécageux au cours de la saison sèche. Le système a besoin d'être maintenu en état d'humidité pour assurer la survie des végétaux essentiels. En outre, si les sédiments venaient à s'assécher, l'oxydation qui en découlerait provoquerait la remise en mouvement en masse des solutés précédemment adsorbés, surtout celle des métaux lourds contre laquelle le système a été conçu. À la mine de Ranger, ce sont les eaux d'exhaure qui servent à maintenir l'humidité du filtre de terrains marécageux durant la saison sèche.

## ***République tchèque***

### *Traitement des eaux acides provenant de l'exploitation par LIS*

Le réaménagement du site de Hamr-Straz implique le traitement des eaux souterraines contaminées. Les eaux sont principalement contaminées par diverses concentrations d'acide sulfurique, aussi une distinction est-elle établie entre les solutions faiblement et fortement acides.

### *Eaux faiblement acides provenant de l'exploitation par LIS*

Pour assurer la coexistence de deux systèmes de production – l'exploitation classique des mines souterraines et la lixiviation *in situ* (LIS) – dans la région de Hamr-Straz (au nord de la République tchèque), l'entreprise d'État DIAMO, qui les exploite, doit pomper d'importants volumes d'eaux d'exhaure acides. L'eau récupérée dans les mines doit être traitée avant de pouvoir être rejetée dans les cours d'eau en surface. Les principaux contaminants sont l'uranium, le radium, l'ammoniac, les métaux lourds (nickel, zinc, manganèse) et de l'acide sulfurique à l'état libre. La concentration de la totalité des solides dissous peut atteindre la valeur de 10 g.l<sup>-1</sup>. Le traitement de ce type d'eaux acides repose sur la précipitation et la sorption.

L'étape de la sorption qui est destinée à récupérer l'uranium intervient en premier lieu avant le traitement à la chaux. L'usine de traitement (appelée installation de neutralisation et de décontamination) assure l'élimination de l'ammoniac, la précipitation du radium et la séparation des métaux lourds sous forme de précipités insolubles.

La technique de neutralisation et de décontamination comporte plusieurs opérations successives :

- la neutralisation et la sédimentation ;
- la chloruration, destruction du chlore résiduel ;
- le filtrage des boues.

### *Neutralisation et sédimentation*

La neutralisation se déroule en deux temps. Un lait calcaire est tout d'abord ajouté pour élever le pH à 6-7, pendant que le radium précipite en Ba(Ra)SO<sub>4</sub> modérément soluble par addition de BaCl<sub>2</sub>.

Dans un second temps, on ajoute de la chaux afin de porter le pH à 11,5-12. Cette opération est le principal facteur qui joue sur l'efficacité de la sédimentation et de la filtration ultérieures des boues.

Les conditions de précipitation ont aussi une influence sur l'efficacité de l'élimination des métaux lourds (aluminium, fer, zinc, manganèse, nickel).

Le mélange de boues et d'eau se sépare dans les bassins de sédimentation différentielle par gravité. On ajoute un flocculant pour améliorer le déroulement de la sédimentation. La solution claire, récupérée au cours de ces deux étapes, est ensuite amenée par pompage dans une cuve de collecte avant la chloruration.

### *Chloruration*

On injecte du chlore à l'état gazeux dans un réacteur à écoulement continu afin de transformer, par oxydation, les ions d'ammoniac en azote gazeux.

### *Filtrage des boues*

Les boues issues des bassins de sédimentation sont épaissies par filtration à l'aide d'une filtre-presses. Le cake ainsi produit, qui contient environ 30 % de solides, est transporté vers le bassin de décantation des résidus de traitement de Straz.

### *Solution fortement acide issue de l'exploitation par LIS*

Pour restaurer la qualité de l'eau provenant des mines de Hamr-Straz exploitées par LIS, il est nécessaire de traiter des quantités importantes d'eaux souterraines contaminées qui présentent une concentration en matières solides dissoutes pouvant atteindre 80 g.l<sup>-1</sup>, dont environ 10 g.l<sup>-1</sup> sont constitués par de l'acide sulfurique à l'état libre. Compte tenu de la composition chimique de ces solutions, il a été décidé de recourir à un système complexe de traitement pour l'élimination des sels. Les opérations successives requises pour traiter les solutions acides comprennent :

### *L'évaporation*

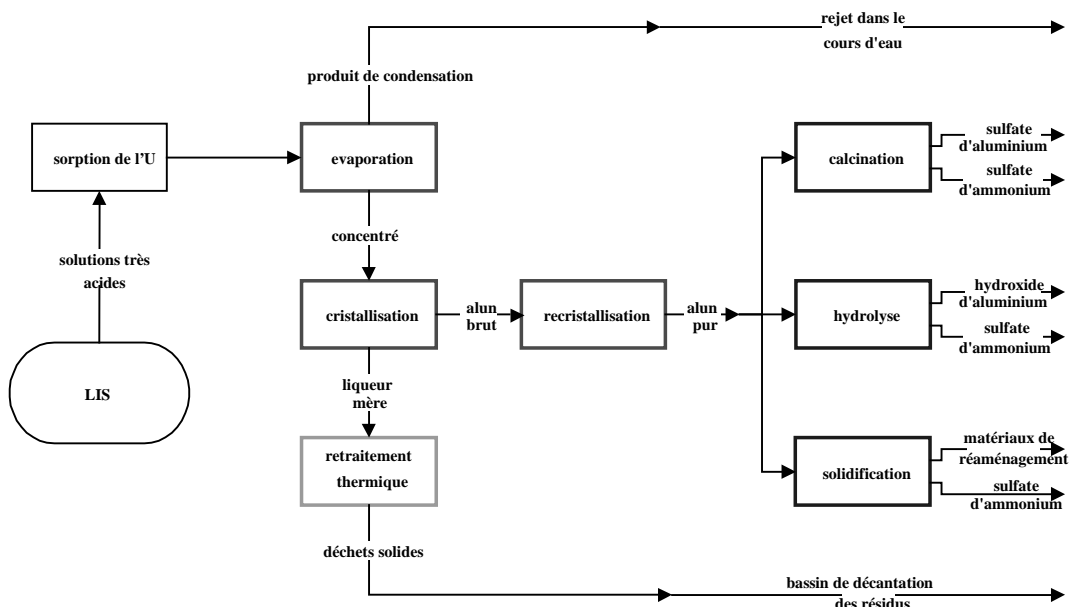
Cette opération se déroule dans des échangeurs de chaleur et dans des évaporateurs à compression de vapeur à flot tombant.

- La cristallisation et la recristallisation des sulfates d'ammonium et d'aluminium (alun) :  
Dans une cuve de cristallisation, la solution est mélangée à une solution de sulfate d'ammonium qui suffit à créer une solution stœchiométrique de sulfates d'ammonium et d'aluminium. Une grande quantité de cristaux d'alun en résulte après refroidissement instantané.
- Le retraitement de l'alun en composés d'aluminium :  
Les produits de cristallisation constituent des déchets de fait, s'ils ne font pas l'objet d'un traitement ultérieur. Il a donc fallu trouver une méthode pour les conditionner en produits commerciaux ou sous une forme qui permette de les évacuer en toute sécurité.

- Le traitement de la liqueur mère :

Le principal objectif du traitement du concentré est de réduire au minimum la quantité de déchets solides à évacuer. La méthode (en voie d'élaboration) comprend une procédure en trois étapes : l'épaississement par évaporation, la cristallisation et la séparation des solides. Les résidus solides sont conditionnés en matériaux qui seront utilisés pour la décontamination des résidus. Les résidus liquides seront asséchés et les solides résiduels seront calcinés. Les produits solides seront déposés dans le bassin de décantation des résidus de traitement de Straz.

Figure 6.2. Schéma fonctionnel du traitement des solutions fortement acides à Straz



## France

*Traitement des eaux provenant des résidus de traitement de l'uranium de la Cogéma après réaménagement du site*

De 1981 à 1997, les 4 564 000 tonnes de minerai extraites dans la région de Lodève ont produit 12 850 tonnes d'uranium après lixiviation par voie alcaline [ $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , à raison d'environ  $90 \text{ g.l}^{-1}$ , oxygène à 6 bars,  $140^\circ\text{C}$ , 18 h].

En 1998, les études de réaménagement du site minier ont montré que deux principaux types d'eau devraient être traités :

- L'eau provenant des chantiers miniers souterrains et
- les infiltrations d'eau et les ruissellements de surface provenant des aires d'évacuation des résidus de traitement.



En 1998, les caractéristiques de ces deux types d'eaux s'établissaient comme suit :

Tableau 6.4. **Résultats de l'étude de réaménagement de Lodève, 1998**

	<b>Eau provenant des chantiers miniers souterrains</b>	<b>Infiltrations d'eau provenant des aires d'évacuation des résidus de traitement</b>
Flow rate (m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> )	40-60	0-70
pH	6,3-7,4	7-9
U (mg.l <sup>-1</sup> )	1-40	30-400
Ra (Bq.l <sup>-1</sup> )	0,1-3	0,2-1,1
SO <sub>4</sub> (mg.l <sup>-1</sup> )	400-900	200-3 000
As (mg.l <sup>-1</sup> )	0,005-0,11	0,01-1

En raison du climat méditerranéen du sud de la France, il se peut que le débit d'eau soit extrêmement variable.

Compte tenu des conditions figurant dans la licence (autorisations de rejet) en vigueur sur le site et des modifications précédemment apportées à la réglementation, en particulier l'arrêté ministériel du 2 février 1998, la Cogéma a fixé les objectifs de qualité suivants pour les eaux de rejet traitées :

- pH : >5,5 et < 9
- Solides en suspension : <30 mg.l<sup>-1</sup>
- Uranium : <1,8 mg.l<sup>-1</sup> (ainsi qu'il est stipulé dans la licence du site)
- Radium 226 : <0,37 Bq.l<sup>-1</sup>
- SO<sub>4</sub> : <2015 mg.l<sup>-1</sup>
- Arsenic : <0,1 mg.l<sup>-1</sup> (ainsi qu'il est stipulé dans l'arrêté ministériel du 2 février 1998)

La Cogéma a décidé de récupérer l'uranium contenu dans l'eau. Le volume des boues produites au cours du procédé de traitement des eaux s'en trouve considérablement réduit.

### ***Tests de traitement et choix de la procédure***

#### *Traitement de l'uranium*

Dans des conditions d'exploitation normales, l'uranium est récupéré à l'aide du système de traitement des eaux. Dans des situations d'urgence caractérisées par de plus forts débits, le même système produit de l'eau d'une qualité qui se prête au rejet.

#### *Procédure normale*

La procédure normale comprend les étapes suivantes :

- La clarification des eaux par sédimentation et filtrage à travers le sable.

- L'ajustement de la valeur du pH à 8 environ, afin de réduire les dépôts calcaires.
- L'extraction de l'uranium sur la résine échangeuse d'ions en mode « écoulement descendant ».
- L'élution de l'uranium.

#### *Procédure de réserve*

Dans l'hypothèse où le traitement à l'aide de résines serait impossible à réaliser ou trop lent pour traiter des volumes élevés d'écoulement, des dispositions ont été prises en vue de retirer l'uranium par précipitation. La conception de l'usine, d'un débit de  $130 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , prévoit les étapes de traitement suivantes :

- L'enlèvement des carbonates et la précipitation à l'aide de chaux (pH d'environ 12).
- La coprécipitation (ou l'adsorption) de l'uranium résiduel par un sel ferrique.
- La floculation à l'aide d'une solution de polyacrylamide et la sédimentation ; les boues épaissies sont évacués avec les autres résidus de traitement du minerai.
- L'acidification à l'aide de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  pour atteindre un pH d'environ 8,5.

#### *Forts débits en cas d'urgence*

Lorsqu'il s'agit de traiter des volumes d'eau exceptionnellement importants, l'alimentation directe des conteneurs de résines peut assurer un débit plus élevé.

#### *Production et évacuation des boues*

Dans des conditions normales, la fixation de l'uranium et la précipitation du radium et de l'arsenic produisent une quantité négligeable de boues par rapport au traitement à la chaux, soit environ  $0,1 \text{ m}^3$  de boues ou  $0,01 \text{ t}$  (poids sec) pour chaque mètre cube d'eaux traitées. À des fins d'évacuation, les boues sont amenées périodiquement par pompage dans un bassin de stockage (constitué du même matériau que le recouvrement définitif) qui se trouve au-dessus de l'installation d'évacuation des résidus.

#### *Traitement du radium*

En cas de concentration normale de radium, environ  $5 \text{ g}$  de  $\text{BaCl}_2$  par mètre cube d'eau sont ajoutés avant l'étape de la sédimentation pour décontaminer l'eau jusqu'à une concentration de radium 226 inférieure à  $0,37 \text{ Bq} \cdot \text{l}^{-1}$ .

#### *Traitement de l'arsenic*

Au besoin, un sel ferrique peut être ajouté dans une proportion de 7 moles de fer pour 1 mole d'arsenic, ce qui provoque la précipitation d'environ la moitié de l'arsenic. Le précipité d'arsenic est éliminé conjointement avec les autres solides en suspension.

## Résultats

Ce procédé fonctionne de façon efficace depuis la mise en service. Les eaux traitées sont conformes à la norme de rejet. D'octobre à décembre 1999, la production moyenne a été d'environ  $60 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , contre  $37 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  en moyenne pendant l'année 1999.

## Allemagne

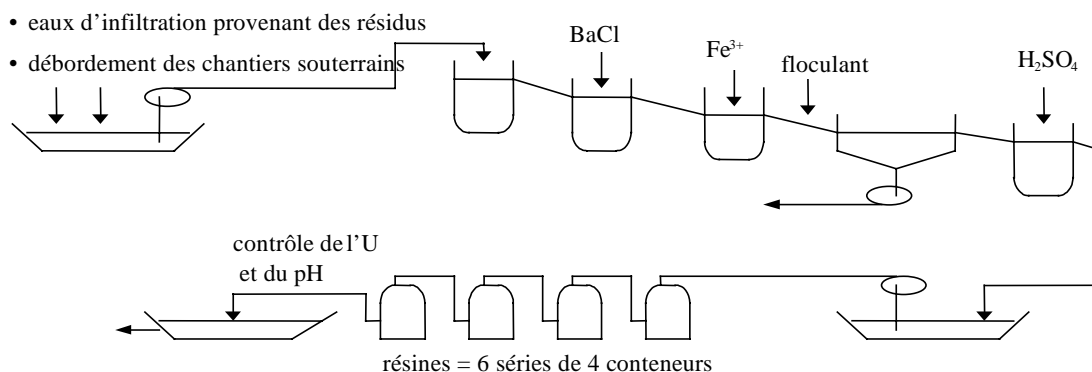
### Traitement des eaux de noyage de mines

L'usine de traitement des eaux de WISMUT GmbH à la mine de Schlema-Alberoda a été construite pour le traitement des eaux de noyage. Le noyage de la mine a débuté en 1992 et devrait s'arrêter temporairement en 2002, à environ 60 m en deçà du niveau du débordement naturel. Comme les eaux d'exhaure contiennent de l'uranium, du radium, de l'arsenic, du fer et du manganèse à des concentrations trop élevées pour que les eaux soient rejetées directement, ces dernières doivent être traitées jusqu'à ce que les concentrations tombent à un niveau acceptable. Une fois ce traitement achevé, l'autorisation sera donnée de noyer la mine complètement et d'en laisser les eaux déborder naturellement.

Tableau 6.5. Qualité de l'eau à l'usine de traitement des eaux de Lodève

	Apports			Rejets			Objectifs de qualités
	Oct. 99	Nov. 99	Déc. 99	Oct. 99	Nov. 99	Déc. 99	
$^{238}\text{U}$ ( $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ )	42,35	23,06	31,31	0,50	0,90	0,80	<1,8
$^{226}\text{Ra}$ ( $\text{Bq} \cdot \text{l}^{-1}$ )	0,48	0,42	0,18	0,27	0,27	0,16	<0,37
As ( $\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ )	37	59	16	51	51	9	<100

Figure 6.3. Schéma fonctionnel de l'usine de traitement des eaux de Lodève

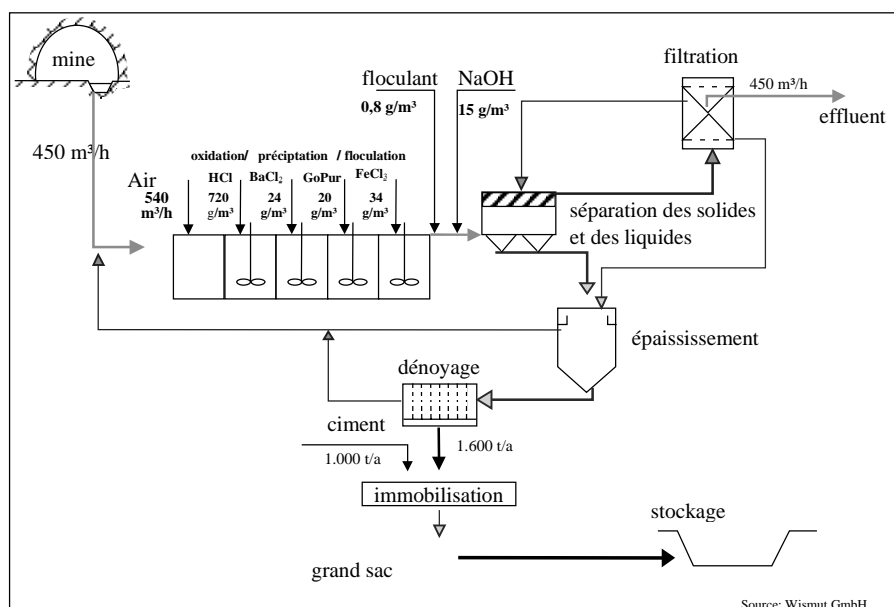


Vu les propriétés chimiques particulières des eaux de noyage, la Société WISMUT a décidé de retirer l'uranium par adsorption des ions et de retirer le radium par coprécipitation du sulfate de baryum et addition de chlorure ferrique pour précipiter l'arsenic [3].

Figure 6.4 illustre schématiquement le déroulement du procédé qui comprend les étapes suivantes [6,7] :

1. L'abaissement du pH à environ 3,4 par addition d'acide hydrochlorique et l'oxydation du fer et du manganèse par aération, parallèlement à la destruction de tout le complexe d'uranyle et de carbonates.
2. L'ajustement du pH à une valeur comprise entre 5,8 et 6,0 par addition d'hydroxyde de sodium.
3. La précipitation du radium et des sulfates de baryum et de radium par addition de chlorure de baryum.

Figure 6.4. Schéma fonctionnel de l'usine de traitement des eaux de Schlema-Alberoda



4. La séparation de l'uranium par adsorption sur la surface réactive du polymère à forte masse moléculaire, le GOPUR 3000<sup>TM</sup> [4].
5. L'addition d'hydroxyde de sodium pour amener le pH à 6,2 ; la précipitation du fer en hydroxyde de fer.
6. La précipitation de l'arsenic en arséniate ferrique par addition de chlorure ferrique.
7. L'oxydation du manganèse par addition de permanganate de potassium.
8. La floculation des précipitants par addition de floculants.
9. La séparation des liquides et des solides dans un clarificateur à lamelles.
10. La filtration du trop-plein du clarificateur.
11. Le rejet des effluents traités dans la rivière Zwickauer Mulde.

12. La concentration des solides en mouvement dans le clarificateur vers une cuve d'épaississement.
13. L'assèchement des boues épaissies dans une filtre-pressé pour produire un cake de filtration contenant 40 % de solides en poids.
14. L'immobilisation des contaminants par enrobage du cake de filtration dans du ciment.
15. Le transfert du produit d'immobilisation dans de grands sacs.
16. Après séchage, le transport des sacs vers une installation d'évacuation spécialement aménagée.

L'usine a une capacité nominale de  $950 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ . La première phase, d'une capacité nominale de  $450 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , est déjà en exploitation. Les travaux de construction correspondant à la seconde phase sont en cours.

Le tableau ci-dessous expose brièvement les concentrations de contaminants des eaux d'exhaure et de l'effluent traité, ainsi que les limites maximales autorisées de qualité des effluents.

**Tableau 6.6. Concentrations de contaminants dans les eaux d'exhaure brutes et traitées à Schlema-Alberoda**

	Unité	Eaux d'exhaure*	Effluent	Limites de qualité des effluents
Uranium	$\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$	7,2	0,4	0,5
Radium	$\text{Bq} \cdot \text{l}^{-1}$	3,8	0,03	0,4
Iron	$\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$	11,3	0,8	2,0
Manganese	$\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$	5,9	1,9	2,0
Arsenic	$\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$	1,9	0,07	0,3
Sulfate	$\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$	2003	2041	2500
pH		6,8	7,3	6,5-8,5**

\* valeurs moyennes pour la période allant de janvier à mars 2000 [7]

\*\* fourchette admissible

### ***Ex-URSS – Communauté d'États indépendants (CEI)***

#### *Contamination des aquifères pollués par la LIS*

Il convient d'établir une distinction entre l'exploitation par LIS dans des champs de captage aux conditions hydrauliques limites bien définies, comme c'est le cas des chantiers aux États-Unis et dans certaines parties de la CEI, et les autres types d'exploitation par LIS dans lesquels les conditions ne sont pas aussi bien définies, comme c'est le cas des chantiers de WISMUT, en Allemagne, et de DIAMO, en République tchèque.

Il existe deux périodes d'exploitation distinctes en ce qui concerne la migration potentielle des contaminants à partir des champs de captage de LIS :

- La période de lixiviation active, pendant laquelle la dispersion de toute auréole de contamination est délimitée par le cadre hydrodynamique du champ de captage, s'il est conçu correctement. Dans ce cas, la contamination des eaux souterraines se limite à la zone comprise dans le champ de captage.
- Une fois la récupération de l'uranium achevée et le cône artificiel de dépression réduit du fait de l'interruption du pompage, le régime hydraulique naturel se rétablira graduellement. Ce phénomène peut provoquer la migration des contaminants hors du champ de captage de LIS.

Les champs de lixiviation correctement exploités ne suscitent que quelques préoccupations liées à la dissémination de la contamination dans les aquifères. Les exemples d'exploitation minière par LIS montrent qu'en général les limites extérieures de l'auréole de contamination ne dépassent pas 50 à 100 m au-delà du champ de captage. Néanmoins, une surveillance continue de la composition chimique des eaux souterraines par des puits de contrôle forés de façon appropriée se justifie.

#### *Restauration des eaux souterraines polluées par la LIS à l'acide sulfurique*

La procédure de restauration des eaux souterraines comprend généralement deux étapes :

- Le retrait des fluides de procédé contaminés par rinçage actif.
- La dispersion de toute contamination résiduelle dans le cadre du régime hydraulique naturel qui a été rétabli.

Il existe plusieurs méthodes de rinçage actif pour un champ de captage. Ces méthodes peuvent être employées isolément ou successivement.

#### *Pompage et traitement avec apport d'eaux souterraines naturelles*

Cette méthode permet d'extraire de cinq à dix volumes de pores des puits de production, pendant que les puits d'isolation environnants sont fermés pour permettre l'arrivée des eaux souterraines. Les eaux sont traitées en surface pour neutraliser les acides, récupérer l'uranium et retirer les contaminants. En général, l'opération exige une unité à plusieurs étages pour l'adsorption et la désorption de l'uranium, ainsi que pour la précipitation de la pâte calcaire. Ce procédé est susceptible d'engendrer de grandes quantités de déchets solides et de boues, pour lesquelles il faut trouver une méthode d'évacuation sûre.

#### *Extraction par air des liquides de procédé contaminés*

Cette méthode consiste à débarrasser le champ de captage lixivié des solutions de lixiviation en injectant de l'air comprimé. De l'air à une pression supérieure à la pression hydrostatique est envoyé dans les puits d'injection, et les eaux interstitielles sont refoulées et récupérées par pompage à partir des puits de récupération. L'uranium et les autres contaminants sont récupérés à partir des solutions extraites, pendant que les solutions acides elles-mêmes peuvent être recyclées pour d'autres champs de LIS, le cas échéant. L'extraction par air permet d'abord de récupérer entre 70 et 80 % des eaux interstitielles à l'intérieur du champ de captage et, partant, entre 70 et 80 % de la contamination à l'intérieur de l'espace poral accessible. Une fois que la pression redevient normale, les eaux souterraines remplissent l'espace poral selon le gradient hydraulique naturel. Toutefois, en raison de l'obstruction de certains pores par suite du piégeage de l'air et de l'homogénéité géologique, certaines

parties du champ de captage ne se satureront pas d'eau. En outre, l'extraction par air a surtout une incidence sur les parties supérieures du champ de captage. En revanche, elle offre l'avantage de créer moins de dilution par rapport à la méthode de pompage et de traitement, améliorant ainsi l'efficacité du procédé et réduisant les quantités à traiter. L'extraction par air peut être répétée pour améliorer la récupération.

### *Rinçage par recirculation*

Il est possible de mettre fin progressivement à toute exploitation par LIS en maintenant le régime de pompage, mais en neutralisant graduellement les fluides de production avant de les réinjecter. Comme dans le cas de la procédure de pompage et de traitement, l'uranium et les autres contaminants sont récupérés ou précipités dans les boues de résidus. Cette technique implique la collecte et le traitement de cinq à dix volumes de pores, suivant la perméabilité et l'hétérogénéité de la roche hôte. L'efficacité prévue du procédé diminuera parallèlement à la concentration des contaminants. Cette méthode de rinçage a aussi été proposée et appliquée jusqu'à un certain point à la mine de Königstein (Allemagne), où est pratiquée la lixiviation en gradins, et à la mine de Straz pod Ralskem (République tchèque), exploitée par LIS.

Il conviendrait de faire observer que toutes les méthodes engendrent une certaine contamination résiduelle dans les espaces poreux qui sont inaccessibles dans les conditions hydrauliques extérieures appliquées. Le volume fractionné respectif dépend de la perméabilité et de l'hétérogénéité du matériau constituant la roche hôte et peut s'avérer important. Il semble donc très difficile de prévoir l'efficacité du réaménagement à cet égard.

### *Réaménagement par atténuation naturelle*

Le recours à l'atténuation naturelle pour la restauration des eaux souterraines offre une solution de rechange à l'utilisation d'une méthodologie active de pompage et de traitement. On entend, par atténuation naturelle, les processus naturels de biodégradation, de dispersion, de dilution, de sorption, de volatilisation et/ou de stabilisation chimique et biochimique des contaminants présents dans les sols et les eaux souterraines qui réduisent efficacement la toxicité, la mobilité ou le volume de contaminants à des niveaux ne portant pas atteinte à la santé humaine et à l'écosystème.

Dès lors que les conditions hydrauliques naturelles auront été rétablies à la suite de la lixiviation, toute contamination résiduelle se dispersera graduellement à des niveaux inférieurs aux gradients de concentration entre les espaces poreux accessibles et ceux qui le sont moins. Dans les espaces poreux accessibles, les contaminants auront tendance à se disperser, mais seront aussi soumis à une atténuation naturelle due notamment à la sorption ou à la précipitation. L'efficacité et les caractéristiques à long terme de cette atténuation dépendront en grande partie de la nature et des caractéristiques de l'aquifère, y compris les débits, la perméabilité, les modèles tectoniques, la composition minérale de la roche hôte, la capacité de sorption, etc.

Dans les cas où l'aquifère en aval d'un champ de captage de LIS possède une capacité suffisante de neutralisation des acides et ne peut servir à d'autres fins, notamment en raison de sa salinité élevée, il est possible, à condition que la législation des eaux le permette, de laisser le champ de captage se rétablir naturellement. Bien que les acides soient neutralisés par l'emploi de carbonates ou de matériaux argileux, les contaminants (comme les radionucléides et les métaux lourds) ne sont que retardés, dilués ou dispersés. L'acceptabilité de cette méthode dépend dans une large mesure de la possibilité de maintenir les concentrations à des niveaux ne suscitant pas de préoccupations pendant

des périodes prolongées et, partant, de la stabilité du système hydrogéologique. De faibles teneurs en minéraux capables de neutraliser les acides et en adsorbants naturels, de même qu'un écoulement lent des eaux souterraines naturelles, peuvent retarder le procédé de façon sensible et prolonger d'autant la période de réaménagement.

L'atténuation naturelle et la restauration des eaux souterraines, ainsi que la migration des solutions de lixiviation résiduelles, sont contrôlées par un système de puits d'observation. Après le déclassement, l'aquifère remis en état et les puits d'observation sont transférés aux autorités compétentes.

L'augmentation des débits d'eaux souterraines peut diminuer le temps nécessaire pour neutraliser et retirer les contaminants d'une solution, si l'on dispose d'une quantité suffisante de minéraux tampons. À cet effet, des puits supplémentaires sont foncés hors du champ de captage de production en aval de l'aquifère, afin de soutirer les solutions résiduelles à travers les parties de l'aquifère qui n'ont pas été touchées précédemment par la LIS et de profiter de leur capacité de neutralisation des acides et de sorption. La réinjection des eaux souterraines pompées en aval peut encore accroître le gradient hydraulique. Les coûts d'un tel système se limitent au fonçage des puits supplémentaires et au pompage. Aucun traitement des eaux de surface ne s'impose car la contamination atteindrait d'autres parties de l'aquifère.

En résumé, le recours à la dilution par dispersion et à l'atténuation naturelle en vue de réduire les concentrations inacceptables en phase aqueuse oblige à évaluer soigneusement les conditions hydrogéochimiques et leur évolution probable à long terme. Il est nécessaire de démontrer (par modélisation notamment) qu'aucune concentration inacceptable ne se produira en aval.

Cette méthode a été appliquée avec succès à certains projets d'exploitation par LIS menés en Ouzbékistan, au Kazakhstan et dans la Fédération de Russie.

## **Ouzbékistan**

L'étude la plus exhaustive sur le réaménagement des aquifères par atténuation naturelle à la suite d'une exploitation par LIS à l'acide sulfurique a porté, pendant une période de 13 ans comprise entre 1977 et 1989, sur le filon N° 10 du gisement de Boukinaï Sud [8]. Ce gisement, découvert en 1961, est situé à environ 20 km au sud de Zafarabad et à 30 km au nord-est de Navoï, dans l'Ouzbékistan.

Le gisement, d'une superficie de 70 000 m<sup>2</sup>, se trouvait dans un aquifère de 15,5 m d'épaisseur et à une profondeur variant entre 150 et 165 m sous la surface. Il contenait 1 733 000 t de minerai d'une teneur en uranium de 0,024 % correspondant à des réserves uranifères *in situ* de 500 t. À un niveau de récupération efficace de 84 %, le filon N°10 a produit 420 t d'uranium au cours des huit années qu'a duré l'exploitation minière par LIS, soit de 1968 à 1975. On a foré 230 puits selon une grille de fonçage allant de 20 × 20 m à 25 × 25 m. La quantité d'acide sulfurique utilisée s'élevait en moyenne à 40 kg.t<sup>-1</sup> de minerai. Au total, 65 000 t d'acide ont été injectées et 7,7 millions de mètres cubes de solutions d'une concentration moyenne en acide de 8,5 g.l<sup>-1</sup> ont été pompés.

Les principaux minéraux uranifères sont la pechblende, la pechblende grasse (UO<sub>2</sub>UO<sub>3</sub>) et la coffinite. La teneur en carbonate est normalement inférieure à 2,5 % de CO<sub>2</sub>, mais peut atteindre 5 % en certains endroits. Les filons de type rubané sont encaissés dans six horizons arénacés, constitués en strates de grès intercalées de dolomites et de siltites, le tout datant du Maestrichtien et du Campanien.

Lors de l'achèvement de l'exploitation minière par LIS, l'auréole des solutions de lixiviation résiduelles occupait tout le chantier de LIS, d'une superficie de 110,3 km<sup>2</sup>. Leur composition était semblable à celle des solutions de production. Les concentrations de matières dissoutes avaient



augmenté d'un facteur de 10 et le pH était tombé à 1,5. Après l'arrêt de l'exploitation minière par LIS, les solutions résiduelles se sont lentement neutralisées et les solides ont précipité. La composition des aquifères et la taille de l'auréole ont subi, au cours d'une période de onze ans, les principales modifications suivantes :

- À l'intérieur du périmètre du chantier de LIS, le pH a augmenté d'un facteur de 2,9, tandis que les matières dissoutes ont diminué d'un facteur de 2,8 et que la concentration des ions de sulfate a diminué d'un facteur de 2,4.
- La surface du panache des solutions résiduelles a diminué d'un facteur de 2, tandis que la quantité totale des principaux contaminants a diminué d'un facteur de 3,6 (2,9 dans le cas du SO<sub>4</sub>), que les concentrations de matières dissoutes ont diminué d'un facteur de 2 et que le pH est passé de 2,0 à 4,8.
- Le panache des solutions résiduelles s'est déplacé d'environ 30 à 50 m vers l'est en raison de l'influence d'un site adjacent où l'on pratiquait l'exploitation minière par LIS et sous l'effet du gradient hydraulique général.

Les principaux facteurs ayant influé sur les changements intervenus dans l'acidité sont le déplacement du panache et la dilution par les eaux neutres d'origine.

La modélisation hydrochimique des procédés a montré que l'aquifère serait entièrement ramené à un état proche de sa composition initiale dans les 15 à 20 années à venir.

Afin d'intensifier le réaménagement, une expérience a été menée pour forcer les solutions résiduelles à se déplacer à travers les milieux non touchés par la LIS. Trois puits supplémentaires ont été foncés à l'extérieur du chantier de LIS en vue de soutirer les eaux souterraines de l'aquifère adjacent. L'eau a été réinjectée par l'intermédiaire de sept à dix puits d'injection pour réorienter le panache vers l'est. Au cours des 20 mois qu'a duré l'expérience, 693 290 m<sup>3</sup> d'eaux souterraines et de solutions résiduelles ont été pompés et mis en circulation.

Après l'expérience, quinze puits supplémentaires ont été foncés en vue de contrôler l'aquifère. Les résultats montrent que la concentration moyenne de matières dissoutes et d'ions de sulfate a été ramenée aux valeurs du fond naturel.

Tableau 6.7. **Caractéristiques moyennes des aquifères à l'intérieur du site de LIS**

Période de contrôle	pH	Matières dissoutes [g.l <sup>-1</sup> ]	Matières dissoutes totales [t]	SO <sub>4</sub> [g.l <sup>-1</sup> ]	SO <sub>4</sub> total [t]
1969 (avant la LIS)	7,3	2,4	520	1,14	250
1975-76 (fin de la LIS)	2,0	18	3 910	10,2	2 210
1977 (après la LIS)	3,7	9,2	1 995	5,2	1 130
1980 (3 ans après la LIS)	4,7	8,8	1 910	4,8	1 040
1987 (avant l'expérience)	5,8	6,5	1 410	4,2	910
1989 (après l'expérience)	6,9	4,0	870	2,1	455

Les résultats du contrôle montrent également que les concentrations de radionucléides sont restées pratiquement constantes tout au long des 11 années d'observation (de 1975 à 1987). Une fois que le panache s'est déplacé, les concentrations d'uranium, de thorium 230, de polonium 210 et de plomb 210 ont chuté brutalement (d'un facteur variant entre 10 et 50) et se situent actuellement en dessous des limites maximales admissibles. Les concentrations de radium 226 étaient toujours

supérieures aux limites maximales admissibles, mais inférieures à la concentration initiale mesurée dans les eaux souterraines avant le début de l'exploitation par LIS.

Tableau 6.8. **Caractéristiques moyennes des aquifères à l'intérieur de l'auréole des solutions résiduelles**

Période de contrôle	Limite du panache pour un pH < 7			Limite du panache pour une quantité de matières dissoutes > 5 g.l <sup>-1</sup>		
	Zone [× 1 000 m <sup>2</sup> ]	pH	SO <sub>4</sub> [g.l <sup>-1</sup> ]	Zone [× 1 000 m <sup>2</sup> ]	Matières dissoutes [g.l <sup>-1</sup> ]	SO <sub>4</sub> [g.l <sup>-1</sup> ]
1975-76 (fin de la LIS)	110,3	2,0	10,2	110,3	18	10,2
1977 (après la LIS)	136,5	3,7	5,2	104,0	9,9	5,6
1980 (3 ans après la LIS)	89,0	4,0	5,1	67,0	10,9	6,1
1987 (avant l'expérience)	70,5	4,85	4,7	62,0	9,0	5,4
1989 (après l'expérience)	44,2	5,5	2,7	23,6	6,15	2,9

## Espagne

### *Traitement des eaux acides dans une mine à ciel ouvert*

#### *Nature des effluents*

Depuis 1974, l'ENUSA (*Empresa Nacional del Uranio*) exploite un gisement uranifère près de Ciudad Rodrigo, dans la province de Salamanque. Il s'agit d'une mine à ciel ouvert qui fournit 90 % de toute la production d'uranium en Espagne.

Étant donné la présence de pyrite dans le corps minéralisé, l'uranium est lixivié naturellement par les eaux de pluie et les eaux de ruissellement de surface qui se répandent sur les pans de la mine à ciel ouvert. Des volumes importants d'eaux usées sont produits (soit 2 000 m<sup>3</sup> par jour) ; en raison de leurs caractéristiques, telles que l'acidité (pH d'environ 3), la teneur en uranium (50 ppm d'U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>) et la radioactivité (1 100 Bq.l<sup>-1</sup> d'activité alpha brute), ces eaux ne se prêtent pas à un rejet direct dans les cours d'eau naturels de la zone.

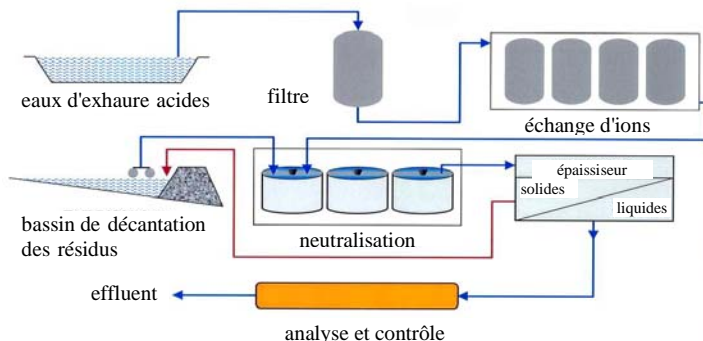
En outre, les liquides provenant des bassins de décantation des résidus et des eaux de ruissellement de surface présentent de fortes concentrations d'aluminium, de manganèse, d'ammoniac et de sulfates. Ces concentrations augmentent parallèlement au temps de rétention des liquides dans les bassins.

#### *Techniques de traitement des eaux*

Afin de se conformer aux prescriptions spécifiques édictées par les autorités réglementaires, l'ENUSA a mis en service, en 1986, une usine pour traiter les eaux acides contaminées provenant de la mine et du bassin de décantation des résidus. La procédure prévoit l'échange d'ions dans des colonnes à lit fixe pour récupérer l'uranium, suivi de la neutralisation de l'acidité avec de la chaux et, enfin, le traitement à l'aide de chlorure de baryum en vue d'éliminer le radium. Les résines échangeuses d'anions se composent en général de copolymères de styrène et de divinylbenzène associés à de l'ammonium quaternaire en tant que groupes fonctionnels et présentant un caractère basique très marqué.

À la fin du procédé, les boues contenant des hydroxydes de métaux lourds et de radionucléides sont acheminées vers un épaisseur pour y séparer les solides des liquides. Les denses (solides) sont rejetés dans des bassins de décantation des résidus, tandis que les légers (liquides) sont analysés et stockés en vue d'être évacués sous contrôle réglementaire.

Figure 6.5. Schéma fonctionnel du procédé de traitement des eaux à Ciudad Rodrigo



#### Autres aspects pertinents

Les opérations de traitement des eaux sont complétées par d'autres mesures techniques visant à réduire les volumes d'effluents liquides à rejeter dans les cours d'eau naturels. Elles comprennent :

- La construction de canaux de dérivation des eaux de surface afin d'empêcher les eaux de ruissellement d'atteindre la mine à ciel ouvert.
- La construction de bassins d'évaporation pour tirer parti d'un taux régional d'évaporation qui est supérieur au taux de précipitation.
- Le retrait de l'eau se trouvant au fond de la mine à ciel ouvert par pompage et son stockage dans des bassins en vue de la réutiliser dans les opérations d'extraction et de traitement du minéral.

#### Données sur les radionucléides et paramètre critiques

Le tableau suivant expose les caractéristiques des eaux avant et après traitement. L'efficacité du procédé est évaluée en fonction des limites maximales de rejet prescrites par les autorités réglementaires.

Tableau 6.9. Données sur les radionucléides et paramètres critiques

Paramètre	Eaux usées non traitées	Limites supérieures	Effluent final
pH	3-3,5	5,5-9,5	8
Uranium (mg d' $U_3O_8.l^{-1}$ )	50	–	0,01
Radium ( $Bq.l^{-1}$ )	37	–	0,05
Activité alpha brute ( $Bq.l^{-1}$ )	1 100	–	0,5
Aluminium ( $mg.l^{-1}$ )	10-30	1	<0,3
Manganèse ( $mg.l^{-1}$ )	200	2	0,1
Sulfates ( $mg.l^{-1}$ )	8 000	2 000	1 700
Ammoniac ( $mg.l^{-1}$ )	70	15	10

## *États-Unis*

### *Démarche adoptée pour le traitement des eaux souterraines polluées par la LIS par voie alcaline*

Les mines exploitées par LIS étaient considérées à une certaine époque comme des mines « non classiques » mais elles sont devenues, ces dernières années, la forme prédominante d'exploitation minière de l'uranium aux États-Unis, principalement en raison de leurs coûts de production généralement peu élevés et leurs incidences minimales sur l'environnement. Du fait que l'uranium est récupéré grâce à une série de puits plutôt que par l'intermédiaire de mines à ciel ouvert ou de puits d'excavation, les perturbations en surface sont bien moindres et les couches géologiques (aquifères compris) recouvrant le corps minéralisé ne sont pas perturbées. Les zones de production, c'est-à-dire les champs de captage, sont entourées de puits de contrôle afin de déceler tout mouvement horizontal ou vertical des solutions de lixiviation à partir de la zone exploitée.

Dès lors qu'un champ de captage est épuisé, l'aquifère doit être réaménagé. Au cours du réaménagement des aquifères, des quantités relativement importantes d'eaux usées sont produites, surtout si l'on utilise la méthode du balayage des eaux souterraines. Les systèmes d'évacuation des déchets dans les mines exploitées par LIS sont principalement conçus pour gérer les déchets produits au cours du réaménagement et font habituellement intervenir à la fois des bassins d'évaporation, l'injection dans des puits en profondeur et le rejet en surface (normalement par irrigation). Chacune de ces méthodes comporte des avantages et des inconvénients, en ce qui concerne aussi bien les coûts que la pertinence du site, la souplesse des opérations et la faisabilité au niveau de la réglementation. L'évacuation des déchets constitue une préoccupation primordiale pour les organismes réglementaires des États-Unis et fait donc l'objet d'une surveillance et d'une réglementation très strictes. Comme les méthodes d'évacuation des déchets peuvent avoir des répercussions importantes sur les coûts, l'évaluation et la sélection de la (des) meilleure(s) méthode(s) sont donc d'une importance critique pour les exploitants de mines. Les principaux aspects des trois méthodes primaires d'évacuation des liquides sont examinés ci-après.

### *Bassins d'évaporation*

Depuis une dizaine d'années, on trouve de moins en moins de bassins d'évaporation dans les mines exploitées par LIS aux États-Unis comme principal moyen utilisé pour évacuer et traiter les liquides, en raison des prescriptions réglementaires de plus en plus rigoureuses. À l'heure actuelle, ces bassins devraient normalement être munis d'un double revêtement ainsi que de systèmes de détection et de collecte des fuites. Ils engendrent aussi des zones de perturbation impliquant des responsabilités liées au réaménagement. La réglementation et les politiques fédérales qui ont été promulguées par la Commission de la réglementation nucléaire des États-Unis (*U.S. Nuclear Regulatory Commission – USNRC*) interdisent la prolifération des sites d'évacuation des déchets de faible activité. Par conséquent, les résidus des bassins doivent tôt ou tard être transportés hors du site vers des installations d'évacuation agréées. Les bassins d'évaporation ont pour principal avantage d'éviter le traitement des effluents et, partant, de réduire les coûts d'exploitation.

### *Puits d'injection*

La réglementation des États-Unis interdit l'injection des déchets de la LIS dans les aquifères contenant moins de 10 g.l<sup>-1</sup> de matières dissoutes. En conséquence, tous les sites ne sont pas dotés de

formations hôtes appropriées ou celles-ci peuvent être si profondes que l'injection dans des puits en profondeur n'est pas rentable. Si des couches hôtes appropriées existent à des profondeurs acceptables, comme c'est le cas des aquifères salés relativement peu profonds et perméables du Texas, l'injection dans des puits en profondeur représente, en général, la méthode d'évacuation privilégiée. Les coûts d'investissement initiaux sont relativement élevés et les coûts d'exploitation peuvent aussi constituer un facteur important, s'il faut procéder à un prétraitement substantiel avant l'évacuation ou si la capacité des puits est faible. Par rapport aux bassins d'évaporation, les coûts de réaménagement sont relativement limités.

### *Procédure de réaménagement*

La grande variété de procédés de réaménagement des aquifères utilisée aux États-Unis n'a pas toujours obtenu le même degré de réussite. À l'époque où les techniques de LIS en étaient toujours au stade de la mise au point, de nombreuses compagnies ont essayé différents lixivants, y compris des solutions comme l'acide sulfurique ( $H_2SO_4$ ) et l'acide nitrique ( $HNO_3$ ). Parmi les premières mines du Texas, nombreuses sont celles qui utilisaient le bicarbonate d'ammonium comme lixiviant ; des expériences similaires ont aussi eu lieu au Wyoming. Dans pratiquement tous les cas, il s'est révélé très difficile de rétablir les corps minéralisés lixiviés par ces solutions dans les conditions antérieures à l'exploitation minière ou dans des conditions acceptables, quelle que soit la méthode de réaménagement employée. L'industrie s'est donc tournée vers des lixivants à base de bicarbonate de sodium utilisant de l'oxygène et du dioxyde de carbone car la restauration des eaux souterraines s'avérait beaucoup plus facile à réaliser et plus économique. Dans les paragraphes qui suivent, on décrit la procédure type de réaménagement des aquifères utilisée actuellement dans presque toutes les mines exploitées par LIS aux États-Unis. Les méthodes sont généralement choisies en fonction de leur efficacité tant à réduire la contamination qu'à contrôler le coût de la procédure de réaménagement. Des informations complémentaires à ce sujet figurent dans diverses publications de l'AIEA [9-11].

### *Étape N° 1 : Balayage des eaux souterraines*

Dans un champ de captage, le réaménagement est entrepris dès que la concentration d'uranium (soit la teneur de tête) dans le fluide de production tombe à un niveau où la récupération n'est plus rentable. Au cours de la première étape de la procédure, normalement appelée « phase du balayage des eaux souterraines », on cesse d'injecter des lixivants dans le corps minéralisé, mais on continue de pomper le fluide des puits de récupération. Cette opération permet de retirer l'eau contaminée de la formation et d'attirer les eaux souterraines environnantes non contaminées dans l'aquifère du corps minéralisé. Les eaux contaminées ainsi retirées sont soit injectées dans un nouveau champ de captage, soit évacuées dans des bassins d'évaporation ou des puits d'évacuation en profondeur ou encore par irrigation. Le balayage des eaux souterraines était en général jugé suffisant pour réaménager complètement l'aquifère, mais la quantité importante d'eau à retirer et à évacuer, jointe au fait que l'efficacité de dilution de la procédure diminue à mesure que la qualité de l'eau se rapproche des conditions de point zéro, impose des étapes de réaménagement supplémentaires. La phase du balayage des eaux souterraines s'avère plus efficace au cours du premier stade du réaménagement, lorsque le différentiel de la qualité de l'eau entre les eaux souterraines contaminées et saines est le plus élevé. En règle générale, on parvient à retirer de un à trois volumes de pores d'eaux de formation au cours de cette étape. Par « volume de pores », on entend le volume d'eau contenu dans la partie du corps minéralisé qui en train d'être remise en état.

### *Étape N° 2 : Traitement des eaux*

Au cours de cette phase, les eaux contaminées qui demeurent dans la formation après le balayage des eaux souterraines sont amenées par pompage à la surface et acheminées en continu vers une installation de traitement des eaux. L'eau propre ainsi traitée (perméat) est réintroduite par pompage dans le champ de captage et réinjectée dans l'aquifère du corps minéralisé. La saumure, c'est-à-dire l'eau rejetée par l'installation de traitement, est alors évacuée dans des bassins d'évaporation ou des puits d'évacuation en profondeur. La plupart des opérations se déroulent dans un poste d'osmose inverse où l'eau contaminée est purifiée, bien que les unités d'électrodialyse se soient avérées efficaces dans quelques mines. Le traitement des eaux souterraines contaminées se poursuit jusqu'à ce que la qualité de l'eau dans la partie exploitée de l'aquifère revienne au niveau de réaménagement prescrit ou en soit très proche. Cette procédure exige normalement le retrait, le traitement et la réinjection de deux à six volumes de pores d'eau de la zone à réaménager. Dans certaines mines, la qualité des eaux souterraines revient à des conditions acceptables dès la fin de la deuxième phase. Toutefois, dans la plupart des mines, il est nécessaire de prévoir une autre étape, qui consiste à ajouter des produits chimiques à l'eau réinjectée selon la méthode décrite au paragraphe suivant.

### *Étape N° 3 : Addition d'agents réducteurs*

Au cours de l'exploitation minière par LIS, l'addition de produits chimiques et d'un oxydant dans l'aquifère du corps minéralisé crée un déséquilibre dans l'environnement géochimique naturel. La formation hôte passe d'un état réduit à un état oxydé qui subsiste, jusqu'à un certain point, au cours du réaménagement de l'aquifère. En conséquence, l'uranium et les autres métaux lourds continuent de se solubiliser, ce qui rend difficile de rétablir (et de stabiliser) ces espèces chimiques aux niveaux de référence. L'introduction d'un réducteur chimique, comme l'hydrogène sulfuré (H<sub>2</sub>S), dans la solution réinjectée au cours de cette phase aide à rétablir l'équilibre géochimique antérieur à l'exploitation minière en empêchant toute oxydation ultérieure. Cette action réductrice fait normalement que les concentrations dissoutes d'uranium et d'autres métaux lourds se stabilisent à des niveaux acceptables. En principe, deux à trois volumes de pores d'eaux souterraines sont remis en circulation au cours de la phase de réaménagement. L'utilisation de réducteurs constitue une procédure standard depuis de nombreuses années au Texas et est devenue courante au Wyoming et au Nebraska.

### *Étape N° 4 : Circulation*

Dans quelques mines exploitées par LIS, la dernière étape de la procédure de réaménagement consiste à faire simplement circuler un ou deux volumes de pores d'eaux de formation à travers l'aquifère du corps minéralisé après la troisième étape, afin d'uniformiser la qualité de l'eau dans tout le champ de captage. Cette action vise à éliminer les variations spatiales et temporelles dans la qualité de l'eau au cours de la période de surveillance de la stabilisation.

### *Surveillance de la stabilisation*

Dès que l'exploitant estime que le réaménagement de l'aquifère dans un champ de captage ou dans une unité de production est achevé, il doit soumettre aux organismes fédéraux ou de l'État compétents des données sur la vérification du réaménagement. C'est alors que débute une période de surveillance de la stabilisation, au cours de laquelle des échantillons sont prélevés chaque mois dans des puits représentatifs désignés pour vérifier si les paramètres obtenus confirment ou non la stabilité de la qualité de l'eau. Au Wyoming et au Nebraska, la période réglementaire de surveillance de la

stabilisation est d'au moins six mois mais elle peut être prolongée par les organismes réglementaires si la qualité de l'eau risque de se détériorer. Au Texas, il n'existe pas de période spécifique de surveillance de la stabilisation.

### *Expérience relative au réaménagement de sites de LIS*

Depuis que l'extraction de l'uranium par LIS est pratiquée aux Etats-Unis, on n'a cessé de se préoccuper de l'efficacité des mesures prises pour se conformer à la prescription selon laquelle les eaux souterraines des champs de captage devraient être rétablies au niveau de qualité préexistant à l'exploitation minière. Même si les incertitudes n'ont peut-être pas été complètement dissipées, l'expérience acquise au cours des années 80 a aidé les exploitants de projets LIS à réduire sensiblement le risque lié au réaménagement des champs de captage. À la fin de 1987, près de 30 champs de captage relevant d'installations commerciales et pilotes d'extraction de l'uranium par dissolution avaient été réaménagés au Wyoming, au Texas, dans le Colorado et au Nouveau-Mexique [12]. Cependant, un certain nombre de mines nouvelles sont entrées en service au cours des 20 dernières années. En outre, rares sont les mines qui ont été vraiment fermées et ont vu leurs installations complètement réaménagées, étant donné le temps qu'il faut pour restaurer les eaux souterraines de façon à les ramener à des limites acceptables.

Dans le projet des champs combinés de Holiday et d'El Mesquite, dans les comtés de Duval et de Webb (Texas), le réaménagement est presque achevé. On avait lancé la production en 1977, pour une période d'activité prévue de 17 ans, en injectant un lixiviant à base de bicarbonate de sodium dans des champs dont la teneur en minerai était estimée à 0,07 % d' $U_3O_8$ . La production annuelle des champs s'établissait en moyenne à 750 tonnes d'uranium, l'efficacité d'extraction étant, selon les estimations, de 93 à 95 %. Les eaux usées ont été recueillies dans deux bassins de stockage situés sur le site du projet d'El Mesquite avant d'être injectées dans des puits d'évacuation en profondeur. Ces terrains et ces installations sont exploités conjointement par Électricité de France (EdF) et la Cogéma (Mines).

La zone couverte par la concession minière du projet d'El Mesquite s'étend sur 1 173 hectares et englobe cinq champs de captage, trois postes satellites, une usine de traitement, un séchoir de concentré d'uranium, des bâtiments administratifs, un laboratoire, un entrepôt et un atelier. Les champs de captage ont une superficie totale de 108 hectares. Les installations de production comprennent deux bassins carrés dont les dimensions initiales étaient de 62 m de côté pour le stockage des eaux usées, un bassin de lavage à contre-courant, deux puits d'injection pour l'évacuation des déchets non dangereux, ainsi que plusieurs petites décharges. En outre, sept postes d'osmose inverse et les équipements connexes destinés à la restauration des eaux souterraines sont situés sur le bloc de traitement.

La concession minière de Holiday s'étend sur 600 hectares et compte dix champs de captage et deux postes satellites. Aucune autre installation de traitement en surface ou de gestion des déchets n'existe sur la concession minière. Le champ de captage de Holiday recouvre une superficie totale de 68 hectares.

Conformément aux prescriptions édictées par le Bureau de contrôle radiologique du Texas (*Texas Bureau of Radiological Control*), la production d'uranium dans la zone des projets de Holiday et d'El Mesquite a cessé et une pression négative est maintenue par pompage dans les zones de la mine pour empêcher toute excursion ou migration du panache au-delà des limites de la concession minière. Dans les zones excavées au début de l'exploitation minière, on a déjà procédé à la restauration des eaux souterraines. Dès que la production a cessé dans les installations de Holiday et d'El Mesquite en 1996, tous les champs de captage en exploitation ont été placés en état officiel de réaménagement. Au

6 octobre 2001, dix des quinze champs de captage avaient été réaménagés et approuvés par la Commission de conservation des ressources naturelles du Texas (*Texas Natural Resource Conservation Commission – TNRCC*) conformément à la réglementation de cet organisme. En outre, les puits d'injection et de production correspondants ont été bouchés et abandonnés toujours en conformité avec les prescriptions de la TNRCC.

Parmi les huit champs de captage de Holiday et d'El Mesquite qui subsistent :

- quatre ont été réaménagés et font actuellement l'objet d'un examen de la TNRCC en vue de déterminer et d'approuver le réaménagement final ;
- deux champs de captage sont en cours de réaménagement par osmose inverse ;
- les deux derniers champs de captage font actuellement l'objet d'un balayage des eaux souterraines.

La restauration des eaux souterraines devrait s'achever au début de 2002.

Tous les champs de captage ont été réaménagés par balayage des eaux souterraines et par osmose inverse. Pour balayer les eaux souterraines, il faut pomper ou retirer les fluides du chantier de mine (sans réinjection), ce qui permet à l'eau non contaminée provenant de l'extérieur du chantier de s'y déverser. Le pompage entraîne une pression négative dans l'aquifère et empêche ainsi les solutions minières de s'échapper du chantier de mine.

Le traitement par osmose inverse consiste à pomper les eaux souterraines à travers des membranes qui séparent les contaminants dans un courant de saumure et permettent ainsi à l'eau propre d'en sortir comme perméat. Ce perméat (propre) est réinjecté dans le chantier minier. Toutes les eaux usées et toute la saumure produites par les postes d'osmose inverse sont stockées dans des bassins de stockage des déchets avant d'être évacuées dans des puits d'injection.

Selon les prescriptions en vigueur dans l'État du Texas, la restauration des eaux souterraines implique de rétablir ces dernières à un niveau (de qualité) tel qu'elles puissent être utilisées à toutes les fins auxquelles elles pouvaient servir avant l'exploitation minière. Dans le cas des projets de Holiday et d'El Mesquite, les eaux souterraines avant l'exploitation minière étaient d'une qualité qui en permettait l'utilisation pour abreuver le bétail (sous réserve de quelques exceptions ponctuelles en raison des niveaux élevés de radium 226 qui est présent dans les eaux souterraines à l'intérieur du corps minéralisé uranifère). L'objectif de la Cogéma, une fois l'exploitation minière terminée, est donc d'épurer les eaux souterraines de façon à les ramener à un niveau aussi proche que possible des conditions du fond naturel, laissant ainsi les eaux souterraines dans un état analogue à celui qui existait avant l'exploitation minière. Dans tous les champs de captage réaménagés jusqu'à maintenant, seuls quelques paramètres de la qualité de l'eau ont été laissés à des niveaux supérieurs aux concentrations de référence initiales. Toutefois, la qualité globale des eaux souterraines restaurées a permis chaque fois de les utiliser, comme c'était le cas avant l'extraction, pour abreuver le bétail et a donc été approuvée non seulement par la TNRCC mais aussi par le public, auquel plusieurs occasions sont données de soumettre des observations et de participer à des auditions au cours de la procédure d'agrément d'un champ de captage réaménagé.



## Références

- [1] Organisation mondiale de la santé (1993), *Directives relatives à la qualité de l'eau*, Volume 1, Recommandation, Genève.
- [2] Kuit W.J. (1980), *Mine and tailing effluent treatment at the Kimberley, BC Operations of Cominco Ltd.*, CIM Bulletin, décembre 1980.
- [3] UEB Uranerzbergbau GmbH (1997), *Wasserbehandlungsanlagen bei der WISMUT GmbH*.
- [4] Gohlke U. (1993), *Polymeraggregat GOPUR 3000*, TI : Nr.WI 04, Institut für Polymerchemie, Teltow, Allemagne.
- [5] Agence internationale de l'énergie atomique (1999), *Technical options for the remediation of contaminated groundwater*, IAEA-TECDOC-1088, Vienne.
- [6] Ministère fédéral de l'économie et de la technologie (2000), *New horizons through remediation*, Berlin, Allemagne.
- [7] Kiessig G. (2000), *Schlema-Alberoda water treatment plant process parameters* (communication personnelle).
- [8] Fazlullin M.I. et coll. (1996), *The experience of ore-bearing aquifers rehabilitation after ISL mining using hydrogeochemical methods*, IAEA Technical Committee Meeting on Uranium *In situ* Leaching, 9-12 septembre 1996, Alma-Ata, Kazakhstan.
- [9] Agence internationale de l'énergie atomique (1989), *In situ leaching of uranium: technical, environmental and economic aspects*, IAEA-TECDOC-492, Vienne.
- [10] Agence internationale de l'énergie atomique (1993), *Uranium in situ leaching*, IAEA-TECDOC-720, Vienne.
- [11] Agence internationale de l'énergie atomique (1993), *Uranium extraction technology*, Technical Reports Series N°359, Vienne.
- [12] Underhill, D.H. (1993), *In situ leach uranium mining in the USA: past, present and future*, IAEA-TECDOC-720, Vienne.

## 7. PRISE EN CHARGE ET SURVEILLANCE À LONG TERME

### Prise en charge à long terme

#### *Exposé des motifs*

Après la fermeture des installations minières, il faut souvent assurer une prise en charge et mener des activités de surveillance pendant une période prolongée pour faire en sorte que les objectifs en matière de performances soient réalisés [1]. Ce principe est désormais régulièrement observé par l'industrie de l'uranium et les autorités gouvernementales des pays du monde entier, en vue de s'assurer que le public et l'environnement sont protégés contre les effets de la radioexposition tout au long de l'exploitation des installations liées à l'uranium, de même qu'après leur fermeture et leur déclassement.

Les longues périodes radioactives de l'uranium, du radium et de leurs produits de filiation peuvent être un sujet de préoccupation pour les collectivités se trouvant sur les sites où ces installations sont situées. Lors de la planification du déclassement, un certain nombre de mesures devraient être prises pour évaluer les risques dus aux rayonnements auxquels le public et l'environnement sont exposés. Les évaluations de risques peuvent confirmer, avec un certain degré d'assurance, que les niveaux de rayonnement résiduels seront conformes aux normes en vigueur dans le domaine de la protection sanitaire du public. On se préoccupera sans doute de savoir si des rayonnements résiduels provenant de l'installation fermée pourraient encore avoir des incidences sur l'environnement même dans un millier d'années. Les méthodes modernes de fermeture, qui se fondent sur des procédés techniques confirmés et des barrières géologiques, offrent les moyens de protéger le public et l'environnement contre les émissions de rayonnements en réduisant l'exhalation de gaz radon sur l'ensemble du site, en empêchant la dispersion des radionucléides dans les eaux souterraines, ainsi que l'érosion qui pourrait entraîner les radionucléides hors du site, et en résistant aux intrusions non autorisées sur le site. Néanmoins, la preuve que les travaux de déclassement et de réaménagement ont été efficaces ne peut être obtenue que grâce à un processus de surveillance à long terme des voies de transfert par l'air, les poussières et l'eau sur le site, pour déceler les émissions de rayonnements, y compris l'exposition directe au rayonnement gamma.

La prise en charge à long terme des déchets radioactifs et des biens renfermant des matières radioactives a pour principal objectif d'assurer la protection du public et de l'environnement. Pour diverses raisons d'ordre technique, administratif ou financier, les solutions définitives en matière de déclassement et de réaménagement peuvent devoir s'appuyer sur des contrôles institutionnels visant à garantir leur intégrité et à assurer l'entretien. La prise en charge peut également s'inscrire dans le cadre d'un programme visant à rassurer le public. Dans certains cas, la prise en charge à long terme peut constituer la seule forme de « réaménagement » requise pour un site.

Cependant, un problème inhérent aux contrôles institutionnels tient à la mémoire institutionnelle, c'est-à-dire la volonté et la capacité d'une institution donnée de continuer à gérer un site au cours d'une période prolongée se mesurant peut-être en siècles. L'assurance de disposer d'un financement

continu peut poser un autre problème sérieux. En conséquence, l'objectif ultime devrait être de concevoir des solutions en matière de fermeture et de réaménagement qui exigent un minimum de contrôles actifs, en ce qui concerne aussi bien la durée que la portée.

Les méthodes permettant d'assurer la prise en charge à long terme par le biais du contrôle institutionnel d'anciens sites radioactifs sont généralement qualifiées soit d'actives, soit de passives. La question de savoir si les contrôles devraient être « actifs » ou « passifs » est examinée au stade de la planification.

### ***Contrôles actifs***

Les contrôles actifs mettent en jeu une certaine forme d'activité humaine, soit continue soit intermittente, en vue de maintenir l'état du site et, à cet effet, de détecter toute exposition du public et de l'environnement aux rayonnements et de procéder à la décontamination en cas de fuite de rayonnements à partir du site, qui serait imputable à une intrusion ou à des processus naturels. Ces contrôles comprennent les restrictions d'accès au site par des barrières matérielles (clôtures, par exemple) ou par des signes d'avertissement, des restrictions à l'utilisation des sols, notamment par des règlements de zonage, la surveillance à long terme de l'environnement, l'entretien du site, ainsi que son réaménagement en cas de déversement de substances radioactives ou de fuite de rayonnements.

La surveillance de l'air, des eaux de surface et souterraines, les inspections des sites, les levés radiologiques en surface, les levés aéroportés du rayonnement gamme, de même que le prélèvement périodique d'échantillons, sont des moyens permettant d'évaluer les performances à long terme d'un site dans le cadre de contrôles institutionnels actifs.

L'expérience acquise dans l'ensemble du monde au sujet des sites d'extraction du minerai (d'uranium) indique toutefois que les contrôles actifs et institutionnels sont susceptibles de se solder par un échec, notamment lorsqu'il n'y a pas suffisamment de pressions en faveur de la remise en valeur des sols.

### ***Contrôles passifs***

Les contrôles passifs font appel à des solutions en matière d'ingénierie et de gestion qui ne nécessitent pas d'intervention humaine et dans lesquelles sont intégrés des contrôles présentant un certain degré de redondance. Les premiers niveaux de « défense » sont en général des barrières ouvragées chimiques et physiques (passives) empêchant la migration de radionucléides dans les eaux ou dans l'air et les expositions directes aux rayonnements, ce qui exige une certaine robustesse au niveau de la conception et de la construction. La conception doit tenir compte des phénomènes naturels susceptibles de conduire à une défaillance, telle que l'érosion, et fournir des marges appropriées de sûreté pour se prémunir contre leur survenue, notamment au moyen de dépôts souterrains, par opposition à la construction de bassins de stockage au-dessus du sol. La redondance conférée aux barrières peut aussi avoir un effet d'auto-atténuation en cas de défaillance d'une barrière.

Ces mesures d'ordre technique peuvent être étayées par des mesures administratives, notamment des restrictions à l'utilisation des sols. Bien qu'il soit difficile de maintenir des restrictions actives en matière d'utilisation pendant plus de quelques décennies, comme l'ont montré de nombreux projets de remise en valeur sur un ancien site industriel, il est possible de rendre peu attrayantes certaines utilisations préoccupantes des sols en recourant à la conception technique ou en mettant en place d'autres utilisations qui ont généralement un lien spirituel avec le sol, par exemple des cimetières ou des réserves naturelles.

Cependant, il peut être toujours nécessaire de recourir à la surveillance à long terme de l'état du sol, de l'air et de l'eau, moins pour vérifier les performances réelles conformément aux plans que pour rassurer le public à ce sujet.

## **Méthodes de surveillance à long terme**

### ***Portée des programmes***

La surveillance, l'entretien et le contrôle à long terme sont des éléments constitutifs d'un programme de prise en charge ou de contrôle institutionnel à long terme établi pour le suivi d'anciens sites de récupération de l'uranium [2,3]. Pour élaborer un programme de surveillance et d'entretien, il convient d'apporter une réponse aux questions suivantes :

- Quelle doit être la fréquence de la surveillance ?
- Quels paramètres faut-il mesurer ?
- Quel type d'équipement utilisera-t-on ?
- Quelles valeurs mesurées déclencheront-elles des interventions ?
- Qui est responsable de la surveillance et des interventions en cas d'urgence ?

La surveillance d'un site réaménagé de récupération de l'uranium permet de déterminer si le programme de réaménagement est complet et efficace. Bien que l'on utilise pour ce faire en principe les mêmes moyens que ceux ayant servi à caractériser le site (voir chapitre 1) et à vérifier la conformité avec les critères de protection de l'environnement tout au long des périodes d'exploitation et de réaménagement, le réseau de surveillance est adapté aux conditions prévalant après le réaménagement. Aux termes du programme de surveillance, la fréquence (trimestrielle, semestrielle, annuelle, bisannuelle ou quinquennale, par exemple) des opérations de mesure et de prélèvement d'échantillons est déterminée sur la base, notamment, des prescriptions nationales, de l'emplacement du site, des répercussions potentielles, de la fréquence et des risques de survenue de phénomènes naturels sur le site (érosion hydrique ou éolienne, mauvaises conditions météorologiques, événements géologiques tels que des séismes, agents biologiques), des ressources naturelles potentielles susceptibles d'être affectées par la pollution radioactive (masses d'eau, vivres, fourrage ou animaux, ressources en air) et des préoccupations de la collectivité.

### ***Inspections de sites***

Les inspections de sites ont pour but de confirmer l'intégrité des caractéristiques naturelles et artificielles visibles sur le site, de déceler les modifications ou conditions nouvelles qui peuvent porter atteinte à l'intégrité du site et de déterminer la nécessité éventuelle de procéder à un entretien ou à des inspections et à une surveillance de suivi. Les inspecteurs évaluent l'efficacité des contrôles institutionnels propres au site et veillent à ce que le site demeure en tout point conforme à la réglementation, aux lignes directrices ou à d'autres prescriptions. Des observations sur l'évolution de la végétation permettent de repérer les techniques de plantation et les espèces qui donnent les meilleurs résultats. Des observations et des mesures de tassement et de consolidation du sol fourniront des renseignements importants sur les modifications intervenues dans les bassins de stockage des résidus et les chantiers miniers situés en sous-sol. On procède à une comparaison des enregistrements et des photographies du site à ceux provenant d'inspections antérieures, afin de déterminer si des modifications ou un endommagement du site peuvent s'être produits, qui risqueraient d'être préjudiciables à son intégrité. Des levés de surveillance radiologique complémentaires peuvent aider à déterminer s'il y a eu des rejets depuis l'étude de l'état final exécutée après l'achèvement du réaménagement [5-8].

### ***Surveillance géotechnique***

Il peut s'avérer nécessaire d'évaluer les sites réaménagés, afin de déterminer les modifications de la stabilité géotechnique en surface et en profondeur au fil du temps. La surveillance géotechnique utilise à cet effet une étude topographique du site au moyen d'échelles d'élévation verticale, de repères, etc. qui repose soit sur des méthodes classiques de triangulation, soit, depuis une date plus récente, sur des systèmes de positionnement global par satellite (GPS). Les repères topographiques font l'objet de nouveaux levés à intervalles réguliers pour déterminer s'il s'est produit un mouvement horizontal ou vertical imputable au tassement ou à l'érosion qui serait susceptible de compromettre l'intégrité du site. Ces levés mesurent les mouvements des digues, des pentes, des talus et d'autres dispositifs ouvrages, afin de déceler toute instabilité des structures de confinement et des tas de résidus. L'ensemble des équipements de contrôle du drainage est d'ordinaire conservé après le réaménagement, afin de veiller à ce que l'on puisse, à l'avenir, mesurer les débits de drainage et prélever des échantillons. Les matières en suspension dans les eaux d'exhaure peuvent être un indice d'érosion. Sur certains sites, il y a lieu d'exercer une surveillance des eaux souterraines à l'aide de piézomètres, pour faire en sorte que l'accumulation d'eau à l'intérieur des structures de confinement des déchets ne déstabilise pas les pentes et ne les fasse pas céder. Il est nécessaire de tester le cuvelage des puits, les canalisations et les installations en surface pour garantir l'intégrité des puits de surveillance et s'assurer qu'ils demeurent valables.

### ***Surveillance des eaux souterraines***

La surveillance s'étendra également à la qualité des eaux souterraines sur le site et hors du site. L'infiltration de précipitations atmosphériques est susceptible de lixivier des contaminants provenant des bassins de stockage des déchets qui peuvent alors pénétrer dans les réseaux d'eaux souterraines sous-jacents ou être rejetés avec les eaux d'exhaure. Des échantillons d'eaux souterraines sont prélevés à partir des puits de surveillance permanents, des décharges de drainage, des cours d'eau, des suitements ou des sources dont le gradient hydraulique est inférieur à celui du site.

Il est courant d'équiper les puits qui ont été forés dans le cadre des études de caractérisation du site pour en faire des puits de surveillance permanents. Ceux-ci peuvent fournir des séries de données chronologiques à long terme sur les modifications de la chimie de l'eau à compter de la période antérieure au réaménagement du site. Les puits qui sont situés en amont ou dans des zones non polluées à l'extérieur des limites du site fournissent les données de référence fondamentales pour la surveillance de toute migration de contaminants hors du site. La surveillance sert aussi à documenter les modifications intervenues dans les régimes locaux des eaux souterraines par suite des activités liées au traitement de l'uranium et leur retour à l'état naturel après cessation de l'exploitation. Les échantillons prélevés à des fins d'analyse en laboratoire suivent des procédures normales de chaîne de prise en charge et d'analyse (radio)chimique en laboratoire.

### ***Surveillance des eaux de surface***

La surveillance des eaux de surface est assurée par des inspections du site et par un échantillonnage systématique du point de vue aussi bien de la qualité que de la quantité.

La télédétection au moyen de la photographie aérienne ou par satellite du site peut contribuer à déceler les modifications intervenues dans les cours d'eau. Les inspections de sites comprennent l'examen des voies de circulation des eaux de surface à travers ou autour d'un site, l'observation des modes d'érosion, les modifications de l'état des rives des cours d'eau, etc. On peut également procéder à des mesures d'écoulement. L'état de fonctionnement des systèmes de traitement des eaux et de

collecte des jus de lixiviation devrait aussi être surveillé, soit par des inspections visuelles, soit par télétransmission des données opérationnelles. Les masses d'eau de surface devraient également faire l'objet d'échantillonnages à intervalles réguliers pour obtenir des données sur la qualité.

### ***Surveillance de l'air ambiant***

La surveillance de l'air porte principalement sur les rejets de radon mais, dans les climats arides, l'érosion des couvertures par le vent peut soulever un problème et l'échantillonnage des poussières peut contribuer à déterminer les taux d'érosion.

L'échantillonnage grâce à l'utilisation sur place de filtres passifs à poussières et de dispositifs de collecte d'air pompé permet d'évaluer le flux de poussières radioactives et de produits de filiation du radon sur un site. La collecte active pendant les inspections périodiques sert aussi à ce type de surveillance. Il convient de prendre des dispositions afin d'utiliser toujours les mêmes emplacements pour chacune de ces inspections [9-11].

Le radon est un important composant de la source de l'exposition et peut représenter une part majeure de la dose, d'où la nécessité d'évaluer en permanence l'efficacité du réaménagement du site afin de limiter cette dose. Il se peut que les émissions de radon à partir du site doivent satisfaire certaines limites réglementaires prescrites ; aux États-Unis, par exemple, les rejets de radon dans l'atmosphère ne peuvent dépasser  $20 \text{ pCi.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  (soit  $0,74 \text{ Bq.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ) sur les sites d'usines de traitement d'uranium réaménagées. Cette mesure peut être établie en moyenne pour la superficie totale de la structure d'évacuation. Un relevé occasionnel plus élevé (ou « point chaud ») est autorisé.

### ***Surveillance écologique***

La surveillance du milieu biologique sur le site et autour de ce dernier peut être un instrument efficace pour évaluer les rejets de faible activité de certains radionucléides et métaux lourds dans les eaux et dans l'air. Certains radionucléides et métaux lourds s'accumulent dans la flore et la faune, offrant ainsi la possibilité d'évaluer une moyenne dans le temps pour la surveillance des rejets, à condition de connaître les taux d'incorporation. La surveillance des organismes de la chaîne alimentaire, des végétaux et des prédateurs sur le site et à sa périphérie permet de mesurer l'efficacité des travaux de réaménagement, notamment dans le cas des sites qui doivent être rendus à leur état naturel au lieu d'être réutilisés comme installations industrielles.

L'évaluation du nombre d'espèces différentes et de leur répartition, par comparaison avec des zones non perturbées similaires, permettra de préciser dans quelle mesure et avec quelle rapidité le site revient à un état « naturel ». Des études limnologiques de la faune et de la flore lacustres ou fluviales, à l'intérieur et à l'extérieur des limites du site, offrent un moyen de déterminer l'incidence globale des décharges et des rejets sur l'environnement.

### **Calendriers de surveillance**

La période sur laquelle un programme de surveillance doit s'étendre dépend d'un certain nombre de facteurs liés aux résultats techniques escomptés, à l'utilisation projetée des sites et à tout contrôle institutionnel qui sera imposé. Ce programme doit couvrir au minimum la période pendant laquelle les contrôles institutionnels sont jugés nécessaires car il sert d'instrument pour en vérifier l'efficacité.

La fréquence avec laquelle les divers éléments de la surveillance, comme les inspections de sites, l'échantillonnage, les télémessures, les levés, etc. doivent intervenir est fonction d'un certain nombre de

facteurs, tels que le niveau de réaménagement atteint, la nature ou l'importance des risques radiologiques, toxicologiques et autres que comporte le site, sa proximité de lieux habités et d'un autre site à protéger, la vulnérabilité du site à la violation des contrôles institutionnels, l'importance et la fréquence de survenue de phénomènes naturels néfastes, notamment des inondations, etc. Lorsque les dangers et les risques sont relativement faibles et que les sites sont à l'écart de la population, ils peuvent ne devoir être réinspectés qu'une fois par an, voire à des intervalles de plusieurs années. La fréquence pourrait aussi devoir être ajustée à la disponibilité de fonds.

En général, la première phase de la surveillance est entreprise peu après l'achèvement d'un programme de réaménagement, par exemple dans l'année ou les mois qui suivent. Elle relève davantage d'une étude de contrôle de la qualité visant à confirmer que le projet a été exécuté conformément aux spécifications. La phase suivante de la surveillance s'échelonne dans le temps, ainsi qu'il a été indiqué ci-dessus. Peut-être ne sera-t-il pas nécessaire de procéder chaque fois à un examen complet ; c'est ainsi que l'on pourrait alterner des inspections mineures et majeures, comportant différents niveaux d'activité d'inspection ou différentes rubriques sur les listes de contrôle. Il peut aussi s'avérer efficace de ne surveiller que quelques paramètres clés, qui donneraient lieu à des examens plus détaillés au cas où les valeurs prédéterminées seraient transgressées. Ces formules contribueraient à alléger progressivement le coût de la surveillance.

La durée de la surveillance dépend de l'évolution probable à long terme du risque que présente le site. La conception du dépôt ou du réaménagement peut avoir été établie dans la perspective d'une durée de vie de 200 ou de 1 000 ans, par exemple. La surveillance du site pourrait, théoriquement, continuer indéfiniment. Cependant il se peut qu'une surveillance initiale sur une base annuelle relève si peu de changements qu'il suffirait de prévoir une surveillance tous les deux ans, voire tous les cinq ans. Réciproquement, l'inquiétude de la collectivité devant l'afflux de nouveaux habitants près du site ou des indices de changement, par exemple une érosion croissante, pourraient imposer des levés plus fréquents.

Aux États-Unis, les sites de résidus d'usines de traitement de l'uranium doivent être conformes aux exigences concernant le contrôle des résidus pendant 1 000 ans, alors que les structures d'évacuation sont conçues pour être efficaces pendant 200 ans au moins et n'exigent que peu d'entretien de conservation. Ces sites fermés font actuellement l'objet d'inspections chaque année et, au cours de la dernière décennie, ces installations ont répondu à toutes les prescriptions réglementaires.

L'Agence des États-Unis pour la protection de l'environnement (*United States Environmental Protection Agency – USEPA*) supervise les sites très contaminés qui doivent être réaménagés dans le cadre du programme « Superfund ». Bien qu'il y ait moins de 100 sites radioactifs figurant sur cette liste sur tout le territoire américain, il se peut qu'une surveillance à long terme (avec ou sans autre contrôle institutionnel) soit nécessaire comme partie intégrante du réaménagement de certains sites. Les périodes de surveillance, visant en particulier la contamination des eaux souterraines, peuvent être illimitées, mais l'intervalle de temps entre les inspections peut atteindre cinq ans, dès lors que le site est décontaminé. Le site de traitement de l'uranium d'Uravan (Colorado), qui devait être entièrement réaménagé en 2000, fait l'objet d'une surveillance des eaux souterraines et des émissions de radon ; la surveillance devrait se poursuivre pendant encore au moins dix ans. Le Programme de surveillance et d'entretien à long terme (*Long-Term Surveillance and Maintenance – LTSM*), administré par le Ministère de l'énergie des États-Unis (*US Department of Energy*), prévoit des activités de suivi et de surveillance sur 25 sites d'évacuation de matières faiblement radioactives. Pour chacun de ces sites, le Programme LTSM garantit que les matières évacuées demeurent isolées de l'environnement, que la sécurité du public et de l'environnement est assurée et que tous les règlements applicables sont observés.

## Références

- [1] OCDE/AEN (Agence pour l'énergie nucléaire) (1995), *Aspects environnementaux de la production d'uranium*, Rapport établi conjointement par l'AEN et l'AIEA, Paris, France, p. 26.
- [2] Needham S. et Waggitt P. (1998), *Planning Mine Closure and Stewardship in a World Heritage Area – Alligator River Region, Northern Territory, Australia*, Proceedings of the Long-Term Stewardship Workshop, US Department of Energy, Grand Junction Office, Denver, Colorado, 2-3 juin 1998.
- [3] Dziuban J., Kennedy J. et Roles G. (1999), *Use of Institutional Controls by Federal Organisations in the United States*, IAEA International Symposium on Restoration of Environments with Radioactive Residues, Arlington, Virginia, États-Unis, 29 novembre-3 décembre 1999, Contributed Papers, IAEA-SM-359, p. 135- 139.
- [4] Agence internationale de l'énergie atomique (2000), *Safety Report on Monitoring and Surveillance for Assuring the Radiological Safety of Residues from the Mining and Milling of Uranium and Thorium*, Draft, Vienne.
- [5] US Environmental Protection Agency, US Nuclear Regulatory Agency, US Department of Energy, US Department of Defense (1997), *Multi-Agency Radiataion Survey and Site Investigations Manual*, US EPA 402-R-97-016, US Nuclear Regulatory Commission NUREG 1575, Washington, DC.
- [6] Bernhard S., Gibaud C., Pineau J. et Sarradin F. (1995, 1996), *Metrological Features of Algade's On-Site Dosimeter*, NEIR IV, Montreal, Canada, juillet 1995 et IRPA9, Vienne, Autriche, avril 1996.
- [7] Bernhard S. et coll. (2000), Proceedings IRPA 10, Hiroshima, Japon, mai 2000.
- [8] Zettwoog P., Lemaitre N., Bernhard S. et Vauzelle Y. (1997), *Utilisation de la signature isotopique des radionucléides relâchés par les mines et les usines de traitement des minerais d'uranium, pour discriminer aux bas niveaux leur impact environnemental de celui de la tellurique naturelle*, Radioprotection, 32(4).
- [9] Bernhard S, Vauzelle Y. et Zettwoog P. (1995), *Measurements of the Radioprotection Impact of Environmental Radon 222 Releases from Piles of Solid Waste from the Mineral Industry*, Conférence internationale sur la radioprotection et la gestion des déchets radioactifs dans les industries minières et de traitement des minéraux, tenue sous les auspices de l'AIIRP, Johannesburg, Afrique du Sud, février 1995.
- [10] Schneider T. et Daroussin J.L. (1999), *Comparative Assessment of Radon Impacts Associated with Mill Tailings Storage*, Proceedings of the Sixth International Symposium organised by the Society for Radiological Protection, Southport, Royaume-Uni, 14-18 juin 1999, p. 355-358.
- [11] Tort V., Schneider T. et Daroussin J.L. (1999), *Evaluation de l'impact radiologique du radon associé au stockage des résidus de traitement de minerais d'uranium*, Radioprotection, 34(4), p. 491-503.





## 8. POLITIQUES ET RÉGLEMENTATION

### Cadre conceptuel

Comme les citoyens sont de plus en plus sensibilisés aux questions liées à la protection de l'environnement et à la santé, de nombreux pays ont adopté ou sont en train d'adopter des politiques visant à améliorer et à renforcer différents aspects, tels que :

- la santé et la sécurité des travailleurs et du public ;
- la protection de l'environnement humain et biologique ;
- le développement durable au plan économique, social et écologique ;
- la consultation du public et sa participation à la prise de décision en matière d'environnement.

Tous les aspects susmentionnés se rapportent à la situation existante sur les sites d'extraction et de traitement du minerai d'uranium. Toutefois, d'autres considérations viennent s'y greffer dans le cas des activités d'extraction de l'uranium, comme les risques radiologiques à long terme et le lien avec les questions de déchets radioactifs. Il s'ensuit que les politiques ayant trait à l'industrie minière de l'uranium, de même que les lois à appliquer, peuvent être relativement complexes car elles font intervenir des prescriptions empruntées à un certain nombre de domaines variés, comme le droit minier, le droit de l'environnement, la réglementation applicable aux déchets toxiques et/ou radioactifs, etc. À cela s'ajoute la question particulière de la prise en charge et du contrôle institutionnel à long terme qui peuvent être requis sur ces sites vu le danger radiologique que présentent les déchets sur une période étendue.

Il y a lieu de mentionner ici le développement durable. Par ce terme, on entend « un développement qui permet de répondre aux besoins du présent sans compromettre la possibilité, pour les générations futures, de satisfaire les leurs » [1]. De nombreux pays ont souscrit à l'objectif du développement durable et font des efforts dans ce sens par diverses politiques et réglementations en matière d'environnement. Dans le cas de l'exploitation minière, le développement durable a été défini comme visant à assurer que les besoins de la société en matières brutes minérales sont satisfaits, sans compromettre l'aptitude soit des sociétés futures à répondre à leurs besoins, soit de l'environnement naturel à maintenir indéfiniment sa qualité (s'agissant notamment des systèmes climatiques, de la diversité biologique et de l'intégrité écologique). Pour réaliser cet objectif, il est nécessaire d'établir un équilibre entre l'environnement, l'économie et la société. Le cas particulier des mines d'uranium ne peut être considéré isolément et exige une comparaison objective avec les autres branches du secteur des approvisionnements énergétiques. Cette comparaison devrait tenir compte non seulement de la taille en général réduite de l'industrie minière de l'uranium par rapport à celle de l'extraction des combustibles fossiles, mais aussi de l'absence d'effets de serre lorsque la production d'électricité est d'origine nucléaire. Les questions de gestion de déchets radioactifs et de réaménagement des chantiers de mines doivent entrer en ligne de compte dans ce contexte. Plus le réaménagement est efficace et complet sur ces sites, plus la pratique est durable et plus convaincante est la justification de cette pratique dans son ensemble.

## Lois et réglementation

### *Législation nationale*

Tous les pays qui exploitent des mines d'uranium disposent de lois et de réglementations se rapportant à l'exploitation, au déclassement et au réaménagement des mines et usines de traitement du minerai. Toutefois, ces lois et réglementations s'appliquent habituellement à l'exploitation minière, à la radioprotection ou à la protection de l'environnement en général plutôt qu'au cas particulier du réaménagement des sites d'extraction et de traitement du minerai d'uranium. Certains pays, notamment l'Australie [2], le Canada [3] et les États-Unis [4], se sont dotés de lois et réglementations qui se rapportent spécifiquement au réaménagement de ces sites. L'Allemagne [5] représente un autre exemple, en ce sens qu'elle a adopté une loi relative à l'assainissement des vastes anciens chantiers de mines situés dans l'est du pays, encore que la législation fixe uniquement le cadre institutionnel du réaménagement plutôt que les critères y afférents. Un résumé de l'état et de l'évolution des lois et réglementations concernant le réaménagement des mines d'uranium et des sites de stockage des résidus de traitement dans certains pays figure dans la section de la présente étude consacrée aux rapports nationaux.

### *Conventions internationales*

Il existe de plus en plus d'accords internationaux qui imposent des obligations en matière d'environnement aux pays signataires. On trouvera ci-après une liste non exhaustive des conventions qui peuvent avoir des liens avec les activités d'extraction et de traitement de l'uranium. Dans chaque cas, le nom de l'organisme international qui administre l'accord est également indiqué.

- La Convention sur l'évaluation de l'impact sur l'environnement dans un contexte transfrontière ou Convention d'Espoo (Commission économique des Nations Unies pour l'Europe – ONU/CEE).
- La Convention sur l'accès à l'information, la participation du public au processus décisionnel et l'accès à la justice en matière d'environnement ou Convention d'Aarhus (ONU/CEE).
- La Convention sur la protection de l'environnement par le droit pénal (Conseil de l'Europe).
- La Convention commune sur la sûreté de la gestion du combustible usé et sur la sûreté de la gestion des déchets radioactifs (AIEA).

La *Convention sur l'évaluation de l'impact sur l'environnement dans un contexte transfrontière* [6] inclut les installations nucléaires, les installations de gestion de déchets radioactifs, ainsi que les principaux projets d'exploitation minière pour l'extraction et le traitement des minerais métallifères, dans la liste des projets à évaluer. La Convention implique certains droits et devoirs pour les parties contractantes quand une activité a des impacts transfrontières sur l'environnement et indique les procédures à suivre lors de l'examen des impacts sur l'environnement d'un projet donné. La Convention a été signée en 1991 par 55 pays et ratifiée par 21 pays, tous Membres de l'AIEA. Elle est entrée en vigueur en octobre 1997.

De même, la *Convention sur l'accès à l'information, la participation du public au processus décisionnel et l'accès à la justice en matière d'environnement* [7] s'applique à la fois aux installations nucléaires et aux installations de gestion de déchets radioactifs, bien que, dans le cas des mines, elle ne mentionne expressément que les puits à ciel ouvert (les autres activités minières seront couvertes si

elles sont soumises à une étude d'impact sur l'environnement, à laquelle le public peut participer, en vertu de la législation nationale). La Convention a pour objet de contribuer à « protéger le droit de chacun, dans les générations présentes et futures, de vivre dans un milieu propre à assurer sa santé et son bien-être » et de garantir « les droits d'accès à l'information sur l'environnement, de participation du public au processus décisionnel et d'accès à la justice en matière d'environnement ». L'adoption de la Convention en juin 1998 a coïncidé avec la déclaration de 52 ministres de l'environnement de la Commission économique des Nations Unies pour l'Europe lors de la quatrième conférence ministérielle « Un environnement pour l'Europe ». Deux ans plus tard, la Convention avait déjà été signée par 39 pays, tous Membres de l'AIEA, mais elle n'est pas encore entrée en vigueur.

Selon la *Convention sur la protection de l'environnement par le droit pénal* [8], le fait soit de rejeter, d'émettre ou d'introduire des rayonnements ionisants dans l'atmosphère, le sol ou l'eau, soit de rejeter des déchets dangereux, en quantité suffisante pour causer la mort, des blessures graves, une détérioration durable de la santé ou des dommages importants à l'environnement, constitue un délit passible de condamnation en vertu des lois nationales. La Convention a été ouverte aux signatures le 11 avril 1999. En octobre 2000, onze États Membres du Conseil de l'Europe, tous Membres de l'AIEA, l'avaient déjà signée, mais elle n'est pas encore entrée en vigueur.

La *Convention commune sur la sûreté de la gestion du combustible usé et sur la sûreté de la gestion des déchets radioactifs* (ou, plus simplement, la *Convention commune*) [9] s'applique aussi aux résidus de l'extraction et du traitement de l'uranium, ainsi qu'aux activités de démantèlement et de fermeture correspondantes. La *Convention commune* a été approuvée lors de la Conférence diplomatique internationale qui s'est tenue à Vienne le 5 septembre 1997. Elle devait entrer en vigueur lorsque 25 pays, dont 15 possédant au moins une centrale nucléaire, l'auraient ratifiée. Le nombre de ratifications requis a été atteint le 18 juin 2001, puisqu'à cette date 25 pays, dont 17 dotés d'au moins une centrale nucléaire, l'avaient signée. La Convention contient un chapitre sur la « Sûreté de la gestion des déchets radioactifs » qui englobe les mesures relatives à l'exploitation et les dispositions institutionnelles à prendre après la fermeture. Elle comprend aussi un chapitre sur les « Mesures générales en matière de sûreté » qui recouvre le cadre législatif et réglementaire, l'organisme chargé de la réglementation, l'assurance qualité, la radioprotection durant l'exploitation, la préparation aux situations d'urgence, la responsabilité du détenteur de la licence, les ressources humaines et financières et le démantèlement. Enfin, un autre article est consacré aux mouvements transfrontières de déchets.

Parmi les autres accords internationaux susceptibles d'avoir une incidence sur les activités d'extraction et de traitement de l'uranium figurent la Convention sur le patrimoine mondial de 1972, la Convention sur la biodiversité de 1989 et le Protocole de Kyoto de 1997, la Convention de Bâle de 1989 sur les déchets dangereux et le Code de bonne pratique de l'AIEA sur les mouvements transfrontières de déchets radioactifs en date de 1990.

### *Normes et directives internationales*

L'AIEA a notamment pour fonction, aux termes de ses Statuts (Article III), d'établir ou d'adopter des normes de sûreté destinées à protéger la santé et à réduire au minimum les dangers auxquels sont exposés les personnes et les biens dans le développement et l'application de l'énergie nucléaire à des fins pacifiques et de prendre des dispositions pour appliquer ces normes à ses propres opérations, ainsi qu'aux opérations assistées par elle, et, à la demande des parties, aux opérations effectuées en vertu d'un accord bilatéral ou multilatéral ou, à la demande d'un État, à telle ou telle des activités de cet État dans le domaine de l'énergie nucléaire. Les publications d'ordre réglementaire présentant les normes et mesures de sûreté établies par l'AIEA sont diffusées dans sa Collection Sécurité.

Afin d'assurer le plus large consensus international, les normes de sûreté sont également soumises à tous les États Membres pour commentaires avant d'être approuvées par le Conseil des gouverneurs de l'AIEA (dans le cas des fondements de la sûreté et des prescriptions en matière de sûreté) ou, au nom du Directeur général, par le Comité des publications (dans le cas des Guides de sûreté).

Les normes de sûreté de l'AIEA n'ont pas force exécutoire pour les États Membres, qui peuvent les adopter, s'ils le jugent bon, à des fins d'utilisation dans les réglementations nationales en ce qui concerne leurs propres activités. Les normes ont force exécutoire pour l'AIEA eu égard à ses propres opérations et pour les États eu égard aux opérations bénéficiant de l'assistance de l'AIEA. Tout État souhaitant conclure un accord avec l'AIEA pour obtenir son assistance en liaison avec le choix du site, la conception, la construction, la mise en service, l'exploitation ou le déclassement d'une installation nucléaire ou avec toute autre activité sera tenue de se conformer aux volets des normes de sûreté qui concernent les activités devant être couvertes par cet accord. Cependant, les décisions finales et les compétences juridiques intervenant dans toute procédure d'autorisation incombent aux États.

Bien que les aspects non radiologiques de la sécurité industrielle et de la protection de l'environnement ne soient pas explicitement pris en compte, on s'accorde à reconnaître que les États devraient remplir leurs obligations et engagements internationaux eu égard à ces aspects.

Les prescriptions et recommandations énoncées dans les normes de sûreté de l'AIEA pourraient ne pas être pleinement respectées par certaines installations construites selon des normes plus anciennes. Les décisions concernant la façon d'appliquer les normes de sûreté à ces installations seront prises par les différents États. En outre, bien que les normes de sûreté de l'AIEA n'aient pas force exécutoire, elles ont été conçues pour assurer que les utilisations pacifiques de l'énergie nucléaire et des matières radioactives se déroulent de manière à permettre aux États de s'acquitter de leurs obligations en vertu des principes généralement admis découlant du droit international et de règles comme celles relatives à la protection de l'environnement. Selon l'un de ces principes généraux, le territoire d'un État ne doit pas être utilisé de façon à provoquer un dommage dans un autre État. Les États sont donc soumis à un devoir de diligence et à un principe de précaution.

Les activités nucléaires civiles relevant de la compétence des États sont, comme toute autre activité, assujetties aux obligations auxquelles les États peuvent souscrire aux termes de conventions internationales et qui viennent s'ajouter aux principes généralement admis du droit international. Les États devraient adopter, dans leur régime juridique national, la législation (y compris la réglementation) et les autres normes et mesures qui peuvent s'avérer nécessaires pour leur permettre de remplir efficacement leurs obligations internationales.

Les normes, directives et recommandations générales internationales qui s'appliquent au réaménagement de l'environnement des installations d'extraction et de traitement du minerai d'uranium sont présentées et examinées dans un certain nombre de publications de l'AIEA :

- Normes fondamentales internationales de protection contre les rayonnements ionisants et de sûreté des sources de rayonnements, Collection Sécurité N°115, 1996.
- Les principes de la gestion des déchets radioactifs, Collection Sécurité N°111-F, 1995.
- L'établissement d'un système national pour la gestion des déchets radioactifs, Collection Sécurité N°111-S-1, 1995.
- Gestion des déchets des mines et des usines de traitement des minerais d'uranium et de thorium, Collection Sécurité N°85, 1987 (en cours de révision).

- Règlement de transport des matières radioactives, Edition de 1996 (Révisée), Collection Sécurité N°TS-R-1 (ST-1, version révisée), 2000.

Les recommandations de la Commission internationale de protection radiologique (CIPR) [10] sont systématiquement intégrées dans les propres recommandations de l'AIEA. Certaines publications récentes de la CIPR, notamment les numéros 60, 77, 81 et 82, se rapportent aux aspects radiologiques du réaménagement des sites d'extraction et de traitement du minerai d'uranium.

## **Mise en œuvre**

L'étude d'impact sur l'environnement (EIE) ou plus simplement l'étude environnementale (EE), est devenue un outil efficace pour aider à intégrer les facteurs écologiques dans le processus décisionnel afférent à tout projet. La procédure d'EIE relève d'une approche méthodique pour déterminer les effets d'un projet donné sur l'environnement. En précisant les effets nuisibles potentiels sur l'environnement avant qu'ils ne se produisent, les EIE permettent aux décideurs de modifier les plans afin que ces effets soient réduits au minimum, voire éliminés.

Au cours des années 80, la Commission mondiale sur l'environnement et le développement (mieux connue sous le nom de Commission Brundtland) a permis de relancer le débat et de recentrer les attentes du public en vue de réformer la procédure d'EIE dans de nombreux pays. Dans son rapport intitulé « Notre avenir à tous », la Commission concluait que les procédures d'EIE seraient plus efficaces si elles étaient obligatoires et inscrites dans la législation. De nombreux pays ont désormais incorporé la procédure d'EIE dans leur législation nationale (voir notamment l'exemple du Canada [11]). D'autres pays, qui ont couramment recours aux EIE, sont en train de déposer des projets de loi pour assurer un statut réglementaire aux EIE, afin de réduire les incertitudes juridiques et les recours en justice.

Dans le cas des nouveaux projets de mines et d'usines de traitement, le réaménagement progressif et le déclassement ultérieur sont systématiquement évalués dans le cadre de la procédure d'EIE de nombreux pays. En ce qui concerne les installations plus anciennes qui ont déjà été fermées, la situation est moins claire et dépendra des circonstances locales particulières. Il faudra peut-être procéder à de nouvelles EIE officielles avant que ces activités de réaménagement puissent être entreprises, à moins qu'une autre forme d'évaluation soit plus indiquée pour déterminer le risque auquel la population locale est exposée et le niveau d'intervention nécessaire pour les mesures de réaménagement. Cela exigera nécessairement une étude et une surveillance minutieuses du site concerné (si les données ne sont pas déjà disponibles dans les dossiers d'exploitation), ainsi qu'une analyse rigoureuse coût/avantages des stratégies possibles, car certaines de ces activités de réaménagement coûtent cher et peuvent grever l'exploitant des installations ou l'État lui-même d'une charge financière indue. La stratégie retenue doit être choisie en conformité avec la législation pertinente visant la protection de l'environnement en général et les expositions aux rayonnements des groupes critiques en particulier, de même qu'elle doit tenir compte à la fois des générations présentes et futures. Une telle situation peut obliger à instaurer une prise en charge ou des contrôles institutionnels à long terme (voir chapitre 5).

## **Participation du public**

Informar les parties prenantes, consulter le public et susciter sa participation à la procédure elle-même sont autant d'aspects qui jouent désormais un rôle clé dans de nombreuses évaluations de l'environnement destinées à des projets d'aménagement et dans l'élaboration de la législation relative à l'environnement. Le développement de nouvelles mines d'uranium, ainsi que le déclassement et le réaménagement des installations existantes, n'échappent pas à cette tendance.

Bien que la procédure de consultation publique puisse varier d'un pays à l'autre, voire ne pas être prévue expressément dans la législation, l'objectif devrait toujours en être le même, c'est-à-dire veiller à ce que la procédure demeure aussi ouverte et transparente que possible et que toutes les parties en cause aient l'occasion de commenter l'activité proposée et de faire part de leurs avis. Cela est particulièrement important et nécessaire dans le cas des projets controversés. Ce n'est que lorsque toutes les parties prenantes auront admis que la procédure a atteint ses buts qu'il sera possible de considérer le projet d'activité comme étant généralement acceptable. En fait, le public peut apporter une contribution notable à certains objectifs de réaménagement, notamment en décidant de l'utilisation future des sols.

## **ÉTUDE DE CAS : La législation de l'Union européenne**

### ***Portée***

Neuf des pays qui apparaissent dans la section de la présente étude consacrée aux rapports nationaux sont soit des États Membres de l'Union européenne (UE), soit des candidats à l'adhésion. Il importe donc d'examiner la législation de l'UE qui touche ou qui touchera aux activités liées au réaménagement des mines et usines de traitement du minerai d'uranium dans ces pays.

L'acte législatif habituel employé par les institutions européennes est une directive en vertu de laquelle les États Membres sont tenus de modifier ou d'adopter une législation nationale avant une échéance précise afin de se conformer aux objectifs de la directive. Bien que les directives lient les États Membres, la méthode exacte à utiliser pour adopter les mesures prescrites incombe aux autorités nationales.

Le fondement juridique de la plupart des législations de l'UE dans le secteur nucléaire est le Traité d'EURATOM [12]. Bien que la radioprotection soit couverte en détail dans ce Traité et les Directives connexes, la seule mention expresse des déchets radioactifs figure à l'article 37, qui stipule que « chaque État Membre est tenu de fournir à la Commission les données générales de tout projet de rejet d'effluents radioactifs sous n'importe quelle forme, permettant de déterminer si la mise en œuvre de ce projet est susceptible d'entraîner une contamination radioactive des eaux, du sol ou de l'espace aérien d'un autre État Membre ». Dans sa recommandation 1999/829/Euratom, la Commission européenne a déclaré que cet article devrait couvrir tout rejet intentionnel ou accidentel de substances radioactives liées (notamment) à l'exploitation minière, à la concentration et à la conversion de l'uranium et du thorium.

Il existe aussi un corpus considérable de législations de l'UE qui traitent des questions écologiques. Selon le Traité instituant la Communauté européenne (Traité de la CE) [13], modifié par le Traité d'Amsterdam, les considérations écologiques doivent être prises en compte dans les autres politiques de l'UE, ce qui illustre bien la préoccupation croissante que suscitent, au sein de l'UE, les questions écologiques en général. De plus, la Communauté européenne est signataire des Conventions d'Espoo et d'Aarhus, et les services de la Commission étudient actuellement un projet d'adhésion à la Convention commune.

Sur un plan plus pratique, la Commission, par l'intermédiaire de ses divers mécanismes de financement (principalement les programmes PHARE et TACIS), a financé de nombreuses études et de nombreux projets de mise en œuvre sur le réaménagement des sites d'extraction et de traitement du minerai d'uranium dans les pays qui ont posé leur candidature à l'UE et dans d'autres pays d'Europe centrale et orientale. Ces activités sont décrites en détail dans une récente communication [14].

Les principales Directives de l'UE qui pourraient influencer sur les activités de réaménagement des sites d'extraction et de traitement du minerai d'uranium sont examinées dans les paragraphes suivants.

### ***La Directive sur l'évaluation des incidences sur l'environnement (EIE)***

La Directive 85/337/CEE du Conseil et sa version modifiée (97/11/CE) [15] concernant l'évaluation des incidences de certains projets publics et privés sur l'environnement (Directive sur l'EIE) constituent l'un des éléments clés de la législation européenne en matière d'environnement. Les États Membres avaient jusqu'au 14 mars 1999 pour se conformer aux dispositions de la Directive modifiée. Dans sa nouvelle version, la Directive présente une liste de projets pour lesquels une EIE est obligatoire et une liste de projets pour lesquels les États Membres peuvent exercer leur pouvoir discrétionnaire dans l'application de la Directive, à partir de l'examen de chaque cas qu'ils auront fait en fonction des seuils ou des critères qu'ils auront eux-mêmes établis. La liste des projets qui nécessitent une EIE est la même que la liste annexée à la Convention d'Aarhus.

La Directive prévoit que certains renseignements seront soumis au maître d'ouvrage. Ces renseignements comprennent « une description des mesures envisagées pour éviter et réduire les effets négatifs importants et, si possible, y remédier ». La Directive prévoit aussi que le public aura accès aux informations pertinentes et pourra exprimer son avis. Le principe de l'accès du public à l'information représente l'un des piliers fondamentaux de la Directive sur l'EIE et a été développé encore davantage dans les Conventions d'Espoo et d'Aarhus.

En vertu de cette Directive, il est clair que les aspects liés au réaménagement formeront une part essentielle des mesures d'atténuation nécessaires qui seront examinées dans le cas d'une nouvelle exploitation. Par contre, la Directive ne fait pas état des projets de réaménagement isolés. La restriction est aussi évidente dans les Conventions d'Espoo et d'Aarhus puisque la liste annexée est sensiblement la même dans les trois textes juridiques.

### ***La Directive sur les normes de base***

La Directive 96/29/Euratom du Conseil [16] du 13 mai 1996 énonce les normes de base relatives à la protection sanitaire de la population et des travailleurs contre les dangers résultant des rayonnements ionisants. L'origine de ces mesures réside dans les dispositions du chapitre 3 du Traité d'EURATOM. La Directive présente l'ensemble le plus récent des normes de base et traduit expressément en loi les recommandations contenues dans la publication N°60 de la CIPR. Les États Membres doivent se conformer aux dispositions de cette Directive avant le 13 mai 2000. Les mines d'uranium qui sont déjà en exploitation tombent sous le coup de la Directive, en vertu du Programme II, et la législation prévoit des mesures de radioprotection pour les travailleurs et la population en ce qui concerne les activités y afférentes.

Les pratiques minières antérieures sont aussi couvertes par l'article 48 de la Directive, encore qu'elles ne le soient pas dans la même mesure que les activités minières actuelles. L'article 53 de la Directive, qui traite des pratiques antérieures, ne régit que les mesures d'intervention (comme la délimitation du périmètre, la surveillance des expositions, etc.). Les mesures de réaménagement elles-mêmes ne sont pas réglementées et la Directive ne prévoit aucune valeur spécifique que les pays seraient tenus d'atteindre à cet égard. Toutefois, la Commission se propose de publier un rapport [17] énonçant diverses recommandations en matière de radioprotection pour l'exécution des projets de réaménagement.



### ***La Directive sur l'eau de boisson***

La Directive 98/83/CE du Conseil [18] du 3 novembre 1998 relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine prescrit une dose indicative totale de  $0,1 \text{ mSv.an}^{-1}$  (à l'exclusion du tritium, du potassium 40, du radon, ainsi que des produits de filiation du radon) pour l'eau de boisson. La Directive est entrée en vigueur le 25 décembre 1998, et les États Membres disposent de deux ans à compter de cette date pour l'incorporer dans leur législation et de trois années supplémentaires (soit jusqu'au 25 décembre 2003) pour harmoniser leurs normes relatives à l'eau de boisson avec celles prescrites par la Directive. La Directive contient aussi des dispositions précises au sujet de la surveillance et des mesures correctives au cas où les limites prescrites seraient dépassées. L'application de cette Directive aura un lien direct avec le réaménagement des sites concernés.

### ***La Directive-cadre sur les déchets***

La Directive 91/156/CEE du Conseil [9], qui modifie la Directive 75/442/CEE, fixe le cadre applicable à la gestion des déchets au sein de la Communauté. La Directive ne s'applique ni aux déchets radioactifs, ni aux déchets provenant de la prospection, de l'extraction, du traitement et du stockage des ressources minérales, ainsi que l'exploitation des carrières.

Ces déchets sont exclus du champ d'application de la Directive car ils sont déjà couverts par une autre législation de la Communauté. Cependant, dans le cas des résidus d'extraction, il est clair qu'aucune autre législation de la Communauté ne s'applique, si bien que ces déchets sont couverts par la présente Directive. À la lumière d'un incident survenu récemment à la mine d'or de Baia Mare, en Roumanie, il est vraisemblable que de nouveaux projets de loi verront bientôt le jour dans ce domaine, et les services de la Commission sont en train de rédiger une communication pour présenter le point de vue de la Commission (bien qu'il n'ait pas encore été précisé jusqu'à quel point les résidus d'extraction de l'uranium seront couverts). Le cas des déchets radioactifs est moins clair, et il se peut que le service juridique de la Commission doive intervenir pour décider si ces déchets sont déjà correctement couverts par une législation de la Communauté (les normes de base, par exemple).

### ***La Directive sur la mise en décharge des déchets***

La Directive 99/31/CE du Conseil [20] du 26 avril 1999 concernant la mise en décharge des déchets est entrée en vigueur le 16 juillet 1999 et les États Membres ont deux ans à compter de cette date pour la transposer dans leur législation nationale. La Directive ne s'applique pas aux décharges qui avaient déjà été fermées avant cette date. De plus, on ne sait pas encore si et de quelle façon la Directive s'appliquera aux déchets présents sur les sites d'extraction de l'uranium (résidus de traitement, tas de résidus de minerai pauvre, etc.) étant donné que seuls relèvent du champ d'application de cette Directive les déchets couverts par la Directive-cadre sur les déchets, qui a été décrite plus haut. Cependant, dans l'hypothèse où cette Directive s'appliquerait également aux résidus d'extraction de l'uranium, il conviendrait de respecter certaines prescriptions minimales pour protéger le sol et l'eau (par exemple, la perméabilité maximale admissible et l'épaisseur minimale de la couverture).

## Références

- [1] Organisation des Nations Unies (1992), *Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement, Action 21, Chapitre 22, Gestion sûre et écologiquement rationnelle des déchets radioactifs*, Rio de Janeiro, juin 1992.
- [2] Australie (1999), *Environmental Protection and Biodiversity Conservation Act*, <http://www.environment.gov.au/epbc/>.
- [3] Canada (2000), *Règlement sur les mines et les usines de concentration d'uranium*, adopté en application de la Loi canadienne sur la sûreté et la réglementation nucléaires, mai 2000, <http://laws.justice.gc.ca/en/N-28.3/>.
- [4] États-Unis d'Amérique (1978), *Uranium Mill Tailings Radiation Control Act (UMTRCA)*, and supporting regulations, e.g., 10 CFR 40 (1992).
- [5] Bundesrepublik Deutschland (1991), *Gesetz zu dem Abkommen vom 16. Mai 1991 zwischen der Regierung der Bundesrepublik Deutschland und der Regierung der Union der Sozialistischen Sowjetrepubliken über die Beendigung der Tätigkeit der Sowjetisch-Deutschen Aktiengesellschaft Wismut vom 12. Dezember 1991*, BGBl. II, p. 1138 (La Loi WISMUT).
- [6] ONU/CEE (1997), *Convention sur l'évaluation de l'impact sur l'environnement dans un contexte transfrontière*, Espoo, 1991, <http://www.unece.org/env/eia/welcome.html>.
- [7] ONU/CEE (1998), *Convention sur l'accès à l'information, la participation du public au processus décisionnel et l'accès à la justice en matière d'environnement* (Convention d'Aarhus), <http://www.unece.org/env/pp>.
- [8] Conseil de l'Europe (1998), *Convention sur la protection de l'environnement par le droit pénal*, ETS N° 172, <http://conventions.coe.int/Treaty/en/Treaties/Html/172.htm>.
- [9] Agence internationale de l'énergie atomique, *Convention commune sur la sûreté de la gestion du combustible usé et sur la sûreté de la gestion des déchets radioactifs*, <http://www.iaea.org/ns/rasanet/conventions/jointconven.htm>.
- [10] Commission internationale de protection radiologique, <http://www.icrp.org>.
- [11] Agence canadienne d'évaluation environnementale (1995), *Loi canadienne sur l'évaluation environnementale, Règlement sur la liste d'étude approfondie*, Ottawa, Canada, [http://www.ceaa.gc.ca/0011/act\\_e.htm](http://www.ceaa.gc.ca/0011/act_e.htm).
- [12] EURATOM (1957), *Traité instituant la Communauté européenne de l'énergie atomique (EURATOM)*, <http://europa.eu.int/abc/obj/treaties/en/entoc38.htm>, Office des publications officielles des Communautés européennes, Luxembourg, 1978, Catalogue N° FX-23-77-962-EN-C, ISBN 92-830-0008-0.
- [13] Communauté européenne, *Traités UE – Versions consolidées incorporant les modifications apportées en vertu du Traité d'Amsterdam*, <http://www.europa.eu.int/eur-lex/en/treaties/index.html>, Journal officiel des Communautés européennes C 340, 10/11/1997, p. 173-308

- [14] Webster S. et Vrijen J. (2000), *The Legacy of Uranium Mining in Central and Eastern Europe – A View from the European Union*, International Symposium on the Uranium Production Cycle and the Environment, AIEA, 2-6 octobre 2000, Vienne.
- [15] Directive 85/337/CEE du Conseil et sa version modifiée (97/11/CE)  
[http://europa.eu.int/eur-lex/en/lif/dat/1985/en\\_385L0337.html](http://europa.eu.int/eur-lex/en/lif/dat/1985/en_385L0337.html),  
Journal officiel des Communautés européennes L 175, 05/07/1985, p. 0040-0048  
[http://europa.eu.int/eur-lex/en/lif/dat/1997/en\\_397L0011.html](http://europa.eu.int/eur-lex/en/lif/dat/1997/en_397L0011.html),  
Journal officiel des Communautés européennes L 073, 14/03/1997, p. 0005 - 0015.
- [16] Directive 96/29/Euratom du Conseil du 13 mai 1996 ,  
[http://europa.eu.int/eur-lex/en/lif/dat/1996/en\\_396L0029.html](http://europa.eu.int/eur-lex/en/lif/dat/1996/en_396L0029.html),  
Journal officiel des Communautés européennes L 159, 29/06/1996, p. 0001-0114.
- [17] Vandenhove H., Bousher A., Hedemann Jensen P., Jackson D., Lambers B. et Zeevaert T. (2000), *Investigation of a Possible Basis for a Common Approach with Regard to the Restoration of Areas Affected by Lasting Radiation Exposure as a Result of Past or Old Practice or Work Activity – CARE*, Rapport final à la Commission européenne, Radiation Protection 115, 285 p., ISBN 92-828-9024-4.
- [18] Directive 98/83/CE du Conseil du 3 novembre 1998  
[http://europa.eu.int/eur-lex/en/lif/dat/1998/en\\_398L0083.html](http://europa.eu.int/eur-lex/en/lif/dat/1998/en_398L0083.html),  
Journal officiel des Communautés européennes L 330, 05/12/1998, p. 0032-0054.
- [19] Directive 91/156/CEE du Conseil du 18 mars 1991 modifiant la Directive 75/442/CEE  
[http://www.europa.eu.int/eur-lex/en/lif/dat/1991/en\\_391L0156.html](http://www.europa.eu.int/eur-lex/en/lif/dat/1991/en_391L0156.html),  
Journal officiel des Communautés européennes L 078, 26/03/1991, p. 0032-0037.
- [20] Directive 99/31/CE du Conseil du 26 avril 1999  
[http://europa.eu.int/eur-lex/en/lif/dat/1999/en\\_399L0031.html](http://europa.eu.int/eur-lex/en/lif/dat/1999/en_399L0031.html), Journal officiel des Communautés européennes L 182, 16/07/1999, p. 0001-0019.

## 9. COÛTS ET FINANCEMENT

### Portée et disponibilité des données

Les coûts de déclassement et de réaménagement peuvent être définis de différentes façons. Aux fins du présent rapport, on entend par coûts de déclassement et de réaménagement « tous les coûts qui, selon les prescriptions des organismes réglementaires, seront encourus pour déclasser et réaménager les installations d'extraction et de traitement du minerai d'uranium et les terrains utilisés et/ou affectés au cours de la production ».

Pour procéder à une analyse approfondie des coûts de déclassement et de réaménagement des différents sites d'extraction et/ou de traitement du minerai d'uranium à travers le monde, il faudrait connaître les coûts individuels de tous les éléments qui devraient normalement faire l'objet d'un déclassement ou d'un réaménagement. Ces éléments comprennent les tas de stériles, les tas de résidus de lixiviation en tas (LET), les zones de stockage et de chargement du minerai, les bassins de décantation des résidus, les mines souterraines, les mines à ciel ouvert, les bâtiments et l'infrastructure, les équipements de lixiviation *in situ* (LIS), ainsi que les eaux souterraines et les sols contaminés.

De plus, toute analyse complète nécessiterait une ventilation des coûts individuels en fonction de leurs constituants, qui comprendraient la recherche et le développement, la planification et l'ingénierie, la procédure d'autorisation, la mise en œuvre et la surveillance.

Malheureusement, il n'est pas aisé de se procurer les informations qui permettraient d'effectuer pareille analyse. Par conséquent, le présent rapport traite seulement des données de coûts globaux qui ont été communiquées pour la présente étude ou qui figurent déjà dans d'autres sources publiées. Afin de situer dans leur contexte les divers coûts de déclassement et de réaménagement, les coûts unitaires sont calculés et exprimés en termes d'uranium produit ou de minerai traité (par exemple, en coût du kilogramme d'uranium ou de la tonne de minerai extrait ou traité). Bien que les coûts soient calculés pour un site ou une installation, il conviendrait de noter que l'on ne saurait procéder à une comparaison significative des coûts entre les sites ou les pays sans disposer de données et d'analyses détaillées complémentaires car ces coûts sont, dans une très large mesure, propres à chaque site. Les données de coûts figurant dans ce chapitre ont pour principal objet de fournir un aperçu global et une base d'information aux responsables de la politique et aux décideurs, de manière à ce que ces coûts puissent être pris en compte et provisionnés à l'instar des autres coûts sociaux.

Les données contenues dans le présent chapitre ne comprennent pas les coûts pour l'entretien et la maintenance à long terme des installations liées à l'exploitation de l'uranium qui ont été réaménagées car, en général, ces coûts ne sont pas disponibles. Les coûts du traitement des eaux souterraines et des eaux d'exhaure ont été pris en compte chaque fois qu'ils étaient disponibles.

## **Facteurs influant sur les coûts de déclasserement et de réaménagement**

### ***Eléments de coût***

Certains facteurs qui ont une incidence directe sur les coûts de déclasserement et de réaménagement devraient être pris en compte dans l'analyse. Parmi les principaux facteurs figurent la taille du gisement, la teneur du minerai, la méthode d'extraction du minerai, le climat, la densité démographique, la portée et les objectifs du réaménagement, les progrès technologiques en matière d'extraction et de traitement du minerai, ainsi que la source de financement.

### ***Taille du gisement***

La taille du gisement ou plus précisément la taille de l'exploitation minière, influe directement sur l'ensemble des coûts de réaménagement. Aux gisements plus importants correspondent normalement de plus gros volumes de stériles et de plus vastes bassins de décantation des résidus, dont la prise en charge est en général plus complexe et, ainsi, plus coûteuse que celle de petites exploitations.

L'influence de la taille du gisement sur les coûts spécifiques de réaménagement de différents sites ne peut être analysée que si l'on compare des gisements dont le minerai a plus ou moins la même teneur et où les mêmes techniques d'exploitation minière sont employées.

### ***Teneur du minerai***

Pour le même tonnage d'uranium produit, les minerais pauvres engendrent davantage de roches stériles et de résidus, aussi les coûts de réaménagement sont-ils plus élevés. D'autre part, les résidus des minerais riches ont une teneur en radio-isotopes plus élevée par unité de volume et peuvent nécessiter des procédures plus élaborées, notamment des recouvrements de protection et des mesures de sûreté radiologique répondant à des normes plus strictes au cours des activités de manipulation et de gestion.

### ***Méthode d'extraction du minerai***

Le déclasserement d'une mine à ciel ouvert est souvent moins compliqué que celui d'une mine souterraine. Dans le premier cas, la mine reste accessible, même si elle est partiellement noyée après la restauration de la qualité de la nappe phréatique. Les dépenses engagées pour construire les talus qui permettront au public d'accéder à la fosse en toute sécurité et pour restaurer le couvert végétal des endiguements sont relativement faibles. Dans le cas des mines souterraines, par contre, il peut être nécessaire de procéder à une opération coûteuse de remblayage des puits et de certains ou de la totalité, des chantiers miniers. La complexité de l'exploitation, la proximité d'établissements humains, la menace pesant sur les ressources naturelles, telles que les eaux souterraines, peuvent constituer, dans un cas donné, le facteur déterminant et, partant, favoriser une méthode plutôt qu'une autre.

Les mines à ciel ouvert et les mines souterraines produisent des roches stériles. Comme les ratios déchets/minerai sont en général plus élevés dans le cas des mines à ciel ouvert, celles-ci engendrent de plus grandes quantités de roches stériles que les mines souterraines, la majeure partie de ces roches pouvant toutefois être constituée de morts-terrains assez « propres ».

Les mines exploitées par LIS ne produisent aucune roche stérile ou résidu de minerai, d'où l'absence de tas de stériles et de bassins de décantation des résidus, en dehors des résidus de neutralisation de l'eau. Toutefois, la qualité des strates d'eaux souterraines doit être restaurée dans les secteurs épuisés du gisement. Les coûts de réaménagement dépendent en l'occurrence de l'utilisation actuelle ou future de l'aquifère touché et de la méthode de lixiviation appliquée (par voie acide ou alcaline). En général, le déclassement des installations exploitées par LIS coûte moins cher que celui des mines classiques, notamment si la lixiviation par voie alcaline (carbonates) peut être pratiquée.

### ***Climat***

Les coûts de réaménagement subissent l'influence des conditions climatiques qui règnent à l'emplacement géographique du site. Toutes choses étant égales par ailleurs (conditions minéralogiques du minerai et de la formation hôte), le risque lié à la présence d'eaux d'exhaure acides est plus élevé dans les régions humides où les précipitations sont fortes (par exemple, en Allemagne ou dans le nord de l'Australie) que dans les régions au climat sec. Il faut donc s'attendre à ce que le réaménagement des tas de stériles et des bassins de décantation des résidus coûte plus cher dans les régions humides. En outre, des considérations relatives à l'érosion et au bilan hydrologique ont une incidence sur la conception des couvertures prévues pour les tas de stériles et les bassins de décantation des résidus. Dans les régions soumises à de fortes précipitations, les modèles de recouvrement sont plus élaborés et, par conséquent, plus onéreux.

### ***Portée et objectifs du réaménagement***

La portée et les objectifs du réaménagement, qui sont déterminés notamment par la voie de la politique de l'entreprise, en accord avec les parties prenantes et par les organismes réglementaires du pays concerné, constituent le facteur dont l'influence est la plus décisive sur les coûts de réaménagement.

En raison des préoccupations croissantes que l'environnement suscite dans de nombreux pays, la rigueur et la portée des prescriptions (d'ordre juridique, politique et socio-économique) se sont nettement accrues, d'où une augmentation des coûts de réaménagement dans leur ensemble.

### ***Densité de la population environnante***

Les coûts de réaménagement augmentent parallèlement à la densité démographique au voisinage de l'installation. Les pressions s'exerçant sur l'exploitant de l'installation pour l'inciter à affecter un terrain à des utilisations agricoles, industrielles ou résidentielles sans restriction, et à d'autres utilisations de plus grande valeur, seront vraisemblablement plus fortes dans les régions très peuplées que dans les régions écartées. De plus, les coûts de surveillance à long terme augmentent parallèlement à la densité démographique.

Toutefois, la densité démographique peut aussi avoir une incidence positive sur les coûts de déclassement et de réaménagement. La valeur de revente du terrain ou des bâtiments est en général supérieure dans les régions plus densément peuplées.

## ***Progrès technologiques en matière d'extraction et de traitement du minerai***

Les innovations techniques peuvent sensiblement influencer sur les coûts de réaménagement de deux façons. En premier lieu, les progrès techniques en matière d'extraction et de traitement du minerai sont susceptibles de causer moins de tort à l'environnement, notamment si des techniques de LIS sont utilisées à la place des méthodes classiques d'extraction. En second lieu, de nouvelles idées et l'expérience pratique découlant des différents projets de réaménagement à travers le monde se traduiront par des avancées techniques et feront donc, en règle générale, baisser les coûts. Par ailleurs, la gestion des installations plus récentes s'est caractérisée par une sensibilisation accrue aux préoccupations suscitées par l'environnement et une utilisation minimale des ressources, aussi les coûts totaux de réaménagement sont-ils comparativement plus faibles.

Ces effets ne peuvent pas toujours être isolés des autres facteurs d'influence. L'inflation, en particulier, joue contre les économies engendrées par les progrès techniques, ce qui complique toute comparaison des coûts de réaménagement à différents moments.

## ***Sources et possibilités de financement***

L'analyse des coûts afférents à divers projets de réaménagement indique que la source de financement a une incidence sur les coûts de réaménagement. Les projets de réaménagement financés par l'État coûtent en général beaucoup plus cher que ceux qui sont financés et mis en œuvre par le secteur privé. Les différences de coûts ne découlent pas de la qualité du programme de réaménagement ou du principe de réaménagement. Toutes les lois et les normes s'appliquent de la même façon aux deux cas. Les conditions naturelles du site et les paramètres programmables sont aussi comparables dans les deux cas. Les écarts de coûts sont donc imputables à des différences de structure, d'organisation et d'exploitation, ainsi que de portée et d'objectifs. À titre d'exemple, on peut citer les différences de coûts notables entre les Programmes UMTRA (Titres I et II), aux États-Unis [1]. Le Programme I, qui est financé et administré par l'État, jouait le rôle de projet pilote, c'est-à-dire que, dans le contexte de ce programme, les principes et les procédures de réaménagement ont été précisés et que les techniques ont été mises au point et appliquées pour la première fois. L'expérience acquise s'est avérée très bénéfique pour le Programme II, qui est mis en œuvre par des sociétés privées (compagnies minières ou sous-traitants miniers) et a permis de réduire les coûts. En outre, les programmes de réaménagement financés par les pouvoirs publics affectent souvent des fonds, en application de la politique gouvernementale, pour atténuer les conséquences socio-économiques de la fermeture de mines.

Le fait que les possibilités de financement soient subordonnées au temps peut aussi avoir une influence car l'échelonnement des travaux dans le temps par suite du manque de fonds accroît en général les coûts totaux. Cela s'explique notamment par le surcoût des mesures intermédiaires de mise en sécurité, par la prolongation des délais de location des équipements et par les taux d'intérêt sur le capital emprunté.

## **Classification des projets de déclassement et de réaménagement**

La plupart des données de coût disponibles fournissent les coûts globaux combinés pour le déclassement (I) des mines et des roches stériles et (II) des usines de traitement du minerai et des bassins de décantation des résidus. Dans le cas de quelques sites, seules des données sur le coût total du déclassement et du réaménagement sont disponibles.

Aux fins du présent rapport, les projets de réaménagement ont été divisés en trois groupes, suivant qu'ils portent sur :

- les mines, y compris les tas de stériles ;
- les usines de traitement du minerai, y compris les bassins de décantation des résidus ;
- les complexes intégrés, y compris la mine, l'usine de traitement, les roches stériles et les bassins de décantation des résidus.

Au cours des années 60 et 70, de nombreux pays disposaient d'installations expérimentales ou exploratoires d'extraction et de traitement du minerai d'uranium, où l'on se servait parfois de charge d'alimentation non classique. En général, les installations étaient petites et la production ne représentait que quelques dizaines ou centaines de tonnes d'uranium. Étant donné leur caractère expérimental, ces installations ne s'intègrent dans aucun des trois groupes précédents et ont donc été classées ensemble dans un quatrième groupe :

- les installations spéciales.

Les données de coûts correspondant à chacun de ces quatre groupes sont présentées respectivement dans les tableaux 1, 2, 3 et 4.

### **Remarques générales relatives à la présentation des données de coûts dans le présent rapport**

Les tableaux 1 à 4 récapitulent les coûts globaux afférents au déclassement et au réaménagement des sites d'extraction et de traitement du minerai d'uranium dans les pays suivants : Allemagne, Australie, Canada, Espagne, États-Unis, Hongrie, Suède et République tchèque. Ils présentent aussi des données sur le tonnage de minerai et la production d'uranium, lorsque celles-ci étaient disponibles. De même, lorsqu'on disposait de données à la fois sur les coûts et sur la production, les coûts unitaires de réaménagement ont été calculés.

Tous les coûts sont exprimés en monnaies nationales et en dollars des États-Unis. Les divers taux de change applicables, qui figurent au tableau 5, représentent la valeur moyenne du dollar des États-Unis par rapport aux monnaies nationales de 1999 [2]. Tous ces coûts, sauf les coûts rétrospectifs, ne constituent que des valeurs estimatives.



Tableau 9.1. Coûts de déclassement et de réaménagement de certaines mines

	Site	Dernier exploitant	Caractéristiques du site		
			Type	État	Date de fermeture
	<b>République tchèque</b>				
1	Dylen	DIAMO	CO, MS, TS	EC	2002
2	Hamr	DIAMO	MS, TS	EC	2015
3	Horni Slavkov	DIAMO	MS, TS	T	1999
4	Krizany	DIAMO	MS, TS	EC	2005
5	Licomerice	DIAMO	MS, TS	T	2025
6	Okrouhla Radoun	DIAMO	MS, TS	T	1998
7	Olsi	DIAMO	MS, TS	T	1998
8	Pribram	DIAMO	MS, TS, BDR	EC	2007
9	Pucov	DIAMO	MS, TS	T	1998
10	Vitkov II	DIAMO	MS, TS	EC	2005
11	Zadni Chodov	DIAMO	MS, TS	EC	2005
	<b>Allemagne</b>				
12	Aue	Wismut	MS, TS, BDR	EC	2008
13	Gittersee	Wismut	MS, TS	EC	2004
14	Ronneburg	Wismut	CO, MS, TS	EC	2010
	<b>États-Unis</b>				
15	Bear Creek, WY	Rocky Mountain Energy	CO, TS	T	1997
16	Big Eagle, WY	US Energy	CO, MS, TS	NP	ND
17	Day-Loma, WY	Energy Fuels Nuclear, Inc.	CO	I	ND
18	East Gas Hills, WY	Umetco Minerals Corp	CO	I	ND
19	Felder, TX	Exxon Minerals Co	CO	T	1983
20	Gas Hills, WY	Power Resources	CO	T	1995
21	Highland, WY	Exxon Minerals Co	CO, TS	T	1996
22	Jackpile/Paguete, NM	Anaconda Minerals Co	CO	T	1994
23	Lucky Mc, WY	Pathfinder Mines Corp	CO, TS	I	ND
24	Midnite, WA	Dawn Mining Co	CO, TS	I	ND
25	Panna Maria, TX	Chevron Resources Co	CO	T	1987
26	Petrotomics Mine, WY	Petrotomics Company	CO, TS	EC	ND
27	Pitch, CO	Homestake Mining Co	CO, TS	I	ND
28	Rhode Ranch, TX	Chevron Resources Co	CO	T	1994
29	Sherwood, WA	Western Nuclear Inc	CO, TS	T	1993
30	Shirley Basin, WY	Pathfinder Mines Corp	CO, TS	I	ND
31	S. Powder River	Kerr-Mcgee Nuclear	CO	T	1989
32	St. Anthony, NM	UNC Mining & Milling	CO	I	ND
33	Sweetwater, WY	Minerals Exploration Co	CO	I	ND

**Légende :**

CO : mine à ciel ouvert

MS : mine souterraine

TS : tas de stériles

BDR : bassin de décantation des résidus

EC : réaménagement en cours

T : réaménagement terminé

TM : traitement mécanique

I : réaménagement inachevé

<sup>a</sup> TEC : coûts de traitement des eaux compris

<sup>b</sup> TEE : coûts de traitement des eaux exclus

<sup>c</sup> MDL : millions d'unités de devises locales

ND : non disponible

NP : réaménagement non prévu

Tableau 9.1. Coûts de déclassement et de réaménagement de certaines mines (suite)

Production		Coûts de réaménagement								
Minerai	Uranium	Total				Coûts unitaires				
		1999				minerai (t)		U (kg)		
millions (tonnes)	tonnes	TEC <sup>a</sup> MDL <sup>c</sup>	TEE <sup>b</sup> MDL <sup>c</sup>	TEC <sup>a</sup> MUSD	TEE <sup>b</sup> MUSD	TEC <sup>a</sup> USD	TEE <sup>b</sup> USD	TEC <sup>a</sup> USD	TEE <sup>b</sup> USD	
<b>République tchèque</b>										
1	0,8	1 100		25,8		0,7		0,93		0,68
2	9,7	13 206	13 000,0		376,1		38,77		28,48	
3	1,7	2 668		120,6		3,5		2,05		1,31
4	1,1	1 108		172,4		5,0		4,53		4,50
5	0,3	383	225,4	63,4	6,5	1,8	21,73	6,11	17,02	4,79
6	1,6	1 340	56,2	44,9	1,6	1,3	1,02	0,81	1,21	0,97
7	1,9	2 922	294,4	178,1	8,5	5,2	4,48	2,71	2,91	1,76
8	35,2	48 432		876,4		25,4		0,72		0,52
9	0,2	311	91,2	30,8	2,6	0,9	13,19	4,45	8,48	2,86
10	3,2	3 970	129,3	93,6	3,7	2,7	1,17	0,85	0,94	0,68
11	2,1	4 151	295,2	220,1	8,5	6,4	4,07	3,03	2,06	1,53
	<b>57,8</b>	<b>79 591</b>	<b>13 667,2</b>	<b>1 512,4</b>	<b>395,4</b>	<b>43,8</b>	<b>6,84</b>	<b>0,76</b>	<b>4,97</b>	<b>0,55</b>
<b>Allemagne</b>										
12	22,0	81 000	1 512,0	1 303	823,5	709,7	37,43	32,26	10,17	8,76
13	3,8	3 000	150,0	136	81,7	74,1	21,50	19,49	27,23	24,69
14	130,0	110 000	3 723,0	3 413	2 027,8	1 858,9	15,60	14,30	18,43	16,90
	<b>155,8</b>	<b>194 000</b>	<b>5 385,0</b>	<b>4 852</b>	<b>2 933,0</b>	<b>2 642,7</b>	<b>18,83</b>	<b>16,96</b>	<b>15,12</b>	<b>13,62</b>
<b>États-Unis</b>										
15	4,3	2 615			ND	6,2		1,44		2,37
16	1,2	1 064			ND	7,3		6,08		6,86
17	0,4	575			ND	24,6		61,50		42,78
18	7,3	6 836			ND	16,6		2,27		2,43
19	0,9	982			ND	0,4		0,44		0,41
20	0,8	563			ND	2,3		2,88		4,09
21	10,0	9 297			ND	3,8		0,38		0,41
22	21,6	28 808			ND	35,0		1,62		1,21
23	10,6	16 923			ND	15,0		1,42		0,89
24	2,0	3 846			ND	34,5		17,25		8,97
25	4,7	1 868			ND	15,0		3,19		8,03
26	5,7	9 075			ND	32,0		5,61		3,53
27	0,3	830			ND	10,0		33,33		12,05
28	1,1	3 036			ND	4,0		3,64		1,32
29	2,6	2 300			ND	3,5		1,35		1,52
30	6,5	9 463			ND	59,3		9,12		6,27
31	0,5	384			ND	1,9		3,80		4,95
32	0,6	568			ND	2,0		3,33		3,52
33	2,1	497			ND	11,8		5,62		23,74
	<b>83,2</b>	<b>99 530</b>				<b>285,2</b>		<b>3,43</b>		<b>2,87</b>

Tableau 9.2. Coûts de déclassement et de réaménagement de certaines usines de traitement du minerai

Site	Dernier exploitant	Caractéristiques du site			
		Type	État	Date de fermeture	
<b>République tchèque</b>					
1	MAPE Mydlovary <sup>1</sup>	DIAMO	LA, BDR	EC	2020
2	Straž p. Ralskem <sup>2</sup>	DIAMO	LIS	EC	2040
<b>Allemagne</b>					
3	Crossen <sup>3</sup>	Wismut	BDR,TS	EC	2010
4	Seelingstädt <sup>4</sup>	Wismut	BDR,TS	EC	2015
<b>États-Unis</b>					
<b>Sites du programme I</b>					
5	Ambrosia Lake, NM	Phillips, UNC	LAL,BDR	T	1995
6	Tanonsburg, PA	Vitro Minerals	LAL,BDR	T	1987
7	Durango, CO	Vanadium Corp.	LA, BDR	T	1991
8	Edgemont, SD	TVA	LA, BDR	T	1989
9	Falls City, TX	Susquehanna Western	LA, BDR	T	1994
10	Grand Junction, CO	Climax	LA, BDR	T	1994
11	Green River Concentr., UT	Union Carbide	LA, BDR	T	1989
12	Gunnison, CO	Gunnison Mining	LA, BDR	T	1995
13	Lakeview, OR	Lakeview Mining	LA, BDR	T	1989
14	Maybell, CO	Umetco Minerals Corp.	LA, BDR	T	1998
15	Mexican Hat Mill, UT	Atlas Minerals	LA, BDR	T	1995
16	Monticello Mill, UT	USAEC	LAL,BDR	EC	ND
17	Monument #2 Upgrader, AZ	Vanadium Corp.	TRL,BDR	T	1994
18	Naturita, CO <sup>5</sup>	Vanadium Corp.	BDR	T	1998
19	Rifle, CO <sup>5</sup>	Union Carbide	BDR	T	1996
20	Riverton, WY	Susquehanna Western	LA,BDR	T	1990
21	Salt Lake City, UT	Vitro Minerals	LA,BDR	T	1996
22	Shiprock, NM	Foote Minerals	LA,BDR	T	1986
23	Slick Rock Concentr., CO <sup>6</sup>	Union Carbide	LA,BDR	T	1986
24	Spook Upgrader, WY	Wyoming Mining	LA,BDR	T	1989
25	Tuba City, AZ	El Paso Natural Gas	LA,BDR	T	1990
<b>Total and averages</b>					

**Légende :**

LA : lixiviation par voie acide  
LAL l: lixiviation par voie alcaline  
BE : bassin d'évaporation  
TRL : tas de résidus de LET  
LIS : lixiviation *in situ*  
BR : bassin des raffinats  
BDR : bassin de décantation des résidus

EC : réaménagement en cours  
T : réaménagement terminé  
I : réaménagement inachevé  
NP : réaménagement non prévu  
ND : non disponible  
<sup>a</sup> TEC : coûts de traitement des eaux compris  
<sup>b</sup> TEE : coûts de traitement des eaux exclus

Tableau 9.2. Coûts de déclassement et de réaménagement de certaines usines de traitement du minerai (suite)

Production		Coûts de réaménagement						
Minerai millions (tonnes)	Uranium tonnes	Total 1999		Coûts unitaires				
		TEC <sup>a</sup> MUSD	TEE <sup>b</sup> MUSD <sup>c</sup>	minerai (t)		U (kg)		
				TEC <sup>a</sup>	TEE <sup>b</sup> USD	TEC <sup>a</sup>	TEE <sup>b</sup> USD	
<b>République tchèque</b>								
1	16,8	28 500		87,7		5,2	3,1	
2	0	15 562	1 041,0			66,9		
<b>Allemagne</b>								
3	74,7	77 000	473,3	368,7	6,3	4,9	4,8	
4	108,8	85 500	831,7	641,6	7,6	5,9	7,5	
	<b>183,5</b>	<b>162 500</b>	<b>1 305,0</b>	<b>1 010,3</b>	<b>7,1</b>	<b>5,5</b>	<b>6,2</b>	
<b>États-Unis</b>								
<b>Sites du programme I</b>								
5	2,4	3 077	ND	36,9		15,4	12,0	
6	0,3	224	ND	51,3		171,1	229,1	
7	1,5	3 569	ND	65,4		43,6	18,3	
8	2,1	1 077	ND	47,4		22,6	44,0	
9	2,3	3 077	ND	46,8		20,3	15,2	
10	2,1	4 496	ND	506,4		241,2	112,6	
11	0,2	346	ND	20,4		102,1	59,0	
12	0,5	623	ND	44,1		88,1	70,7	
13	0,1	150	ND	33,1		330,5	220,3	
14	2,4	1 538	ND	43,7		18,2	28,4	
15	2,0	4 385	ND	48,1		24,0	11,0	
16	0,8	1 763	ND	256,2		320,3	145,3	
17	0,9	2 307	ND	19,7		21,9	8,5	
18	0,6	1 895	ND	61,1		101,9	32,3	
19	2,8	6 154	ND	106,4		38,0	17,3	
20	0,8	831	ND	49,8		62,3	60,0	
21	1,5	4 185	ND	89,1		59,4	21,3	
22	3,4	7 115	ND	27,1		8,0	3,8	
23	0,6	1 290	ND	54,9		91,5	42,5	
24	0,2	173	ND	7,4		36,9	42,7	
25	0,7	1 806	ND	32,8		46,8	18,1	
	<b>28,2</b>	<b>50 081</b>		<b>1 648,1</b>		<b>58,4</b>	<b>32,9</b>	

**Notes :**

1. 3 030 MCSK, non compris le coût de traitement des eaux [12]
2. 3 600 MCSK, y compris le coût de traitement des eaux [12]
3. 677 MDM, non compris le coût de traitement des eaux ; 869 MDM, y compris le coût de traitement des eaux [14]
4. 1 178 MDM, non compris le coût de traitement des eaux ; 1 527 MDM, y compris le coût de traitement des eaux [14]
5. principalement le traitement du vanadium, sous-produit de l'uranium [20]
6. comprend l'usine de minerai broyé de North Continental Mining [20]
7. lixiviation en tas

Tableau 9.2. Coûts de déclassement et de réaménagement de certaines usines de traitement du minerai (suite)

Site	Dernier exploitant	Caractéristiques du site			
		Type	État	Date de fermeture	
<b>États-Unis</b>					
<b>Sites du Programme II</b>					
26	Ambrosia Lake (NM)	Rio Algom Corp.	LA, BDR	I	
27	Bear Creek WY	Rocky Mountain Energy	LA, BDR	T	1997
28	Bluewater (NM)	Anaconda Minerals Co.	LAL, BDR, BE	T	1995
29	Church Rock (NM)	UNC Mining & Milling	LA, BDR	T	1995
30	Conquista (TX)	Conoco Inc.	LA, BDR	T	1993
31	East Gas Hills (WY)	Umetco Minerals Corp.	LA, BDR	EC	ND
32	Ford (WA)	Dawn Mining Co.	LA, BDR	I	ND
33	Gas Hills (WY)	Federal-American Partn.	LA, BDR	I	ND
34	Grants (NM)	UNC-Homestake	LAL, BDR	I	ND
35	Grants (NM)	Quivira Mining Co.	LA, BDR	ND	ND
36	Highland (WY)	Exxon Minerals Co.	LA, BDR	T	1990
37	L-Bar (NM)	Sohio Western Mining Co.	LA, BDR	T	1989
38	Lisbon (UT)	Rio Algom Corp.	LAL, BDR	T	1996
39	Lucky Mc (WY)	Pathfinder Mines Corp.	LA, BDR	T	1992
40	Maybell (CO) <sup>7</sup>	Umetco Minerals Corp.	BDR, BE	I	ND
41	Moab (UT)	Atlas Minerals	LA, LAL, BDR	I	ND
42	Panna Maria (TX)	Rio Grande Resources	LA, BDR	T	1998
43	Ray Point (TX)	Exxon Minerals Co.	LAL, BDR	T	1994
44	Sherwood (WA)	Western Nuclear Inc.	LA, BDR	T	1996
45	Shirley Basin (WY)	Petrotomics Company	LA, BDR	T	ND
46	Shirley Basin (WY)	Pathfinder Mines Corp.	LA, BDR	EC	ND
47	Split Rock (WY)	Western Nuclear Inc.	LA, BDR, BE	T	1997
48	Sweetwater (WY)	Minerals Exploration Co.	LA, BDR	I	ND
49	Uravan (CO)	Umetco Minerals Corp.	LA, BDR, BR	EC	ND
50	White Mesa (UT)	International Uranium	LA, BDR, BE	I	ND
<b>Totaux et moyennes</b>					

**Légende :**

LA : lixiviation par voie acide  
 LAL : lixiviation par voie alcaline  
 BE : bassin d'évaporation  
 TRL : tas de résidus de LET  
 LIS : lixiviation *in situ*  
 BR : bassin des raffinats  
 BDR : bassin de décantation des résidus

EC : réaménagement en cours  
 T : réaménagement terminé  
 I : réaménagement inachevé  
 NP : réaménagement non prévu  
 ND : non disponible

<sup>a</sup> TEC : coûts de traitement des eaux compris

<sup>b</sup> TEE : coûts de traitement des eaux exclus

Tableau 9.2. Coûts de déclassement et de réaménagement de certaines usines de traitement du minerai (suite)

Production		Coûts de réaménagement						
Minerai millions (tonnes)	Uranium tonnes	Total 1999		Coûts unitaires				
		TEC <sup>a</sup> MUSD	TEE <sup>b</sup> MUSD <sup>c</sup>	Minerai (t)		U (kg)		
				TEC <sup>a</sup> USD	TTE <sup>b</sup> USD	TEC <sup>a</sup> USD	TTE <sup>b</sup> USD	
<b>États-Unis</b>								
<b>Sites du Programme II</b>								
26	37,9	48 360	41,2	31,4	1,1	0,8	0,9	0,6
27	4,3	2 529	ND	4,9		1,1		1,9
28	32,8	50 000	43,0	39,5	1,3	1,2	0,9	0,8
29	3,2	3 091	16,4	14,6	5,1	4,6	5,3	4,7
30	8,0	6 154	ND	8,0		1,0		1,3
31	7,3	6 836	45,0		6,2		6,6	
32	2,8	4 773	17,5	14,5	6,3	5,2	3,7	3,0
33	5,2	10 263	7,4		1,4	0,0	0,7	0,0
34	22,2	28 500	71,1	34,1	3,2	1,5	2,5	1,2
35	37,9	48 360	41,2		1,1		0,9	
36	10	9 297	20	17,2	2,0	1,7	2,2	1,9
37	1,5	1 736	17	15,0	11,3	10,0	9,8	8,6
38	3,5	5 712	15,5	10,0	4,4	2,9	2,7	1,8
39	14,6	21 909	9,8	7,3	0,7	0,5	0,4	0,3
40	1,8	385	ND	3,2		1,8		8,3
41	19,5	24 769	ND	16,0		0,8		0,6
42	5,9	5 846	21	19,3	3,6	3,3	3,6	3,3
43	0,4	292	4,1	3,6	10,3	9,0	14,0	12,3
44	2,6	2 300	ND	8,3		3,2		3,6
45	5,7	9 075	ND	9,9		1,7		1,1
46	6,5	9 463	ND	6,4		1,0		0,7
47	7	7 190	25	21,4	3,6	3,1	3,5	3,0
48	2,1	497	ND	5,4		2,6		10,9
49	9,4	16 346	96,2		10,2		5,9	
50	4	10 923	ND	11,5		2,9		1,1
	<b>256,1</b>	<b>334 606</b>	<b>491,4</b>	<b>301,5</b>	<b>1,9</b>	<b>1,2</b>	<b>1,5</b>	<b>0,9</b>

**Notes :**

1. 3 030 MCSK, non compris le coût de traitement des eaux [12]
2. 3 600 MCSK, y compris le coût de traitement des eaux [12]
3. 677 MDM, non compris le coût de traitement des eaux ; 869 MDM, y compris le coût de traitement des eaux [14]
4. 1 178 MDM, non compris le coût de traitement des eaux ; 1 527 MDM, y compris le coût de traitement des eaux [14]
5. principalement le traitement du vanadium, sous-produit de l'uranium [20]
6. comprend l'usine de minerai broyé de North Continental Mining [20]
7. lixiviation en tas

Tableau 9.3. Coûts de déclassement et de réaménagement de certains complexes intégrés

Site	Dernier exploitant	Caractéristiques du site			
		Type	État	Date de fermeture	
<b>Australie</b>					
1	Mary Kathleen <sup>1,5</sup>	MKU	CO, LA,	T	1985
2	Nabarlek <sup>2,5</sup>	QM	CO, LA, BDR, TS	T	1995
3	Rum Jungle <sup>3,5</sup>	CRA	CO, LA, BDR	T	1991
	<i>Totaux et moyennes</i>				
4	Ranger <sup>4</sup>	ERA	CO, LA, BDR, TS	EX	
<b>Canada</b>					
5	Beaverlodge <sup>5,6</sup>	Eldorado	MS, LAL, BDR, TS	I	1985
6	Denison <sup>6,7</sup>	Denison Mines Ltd.	MS, LA, BDR		1999
7	Panel <sup>6,7</sup>	Rio Algom Ltd.	MS, LA, BDR	T	1999
8	Quirke <sup>6,7</sup>	Rio Algom Ltd.	MS, LA, BDR	T	1999
9	Stanleigh <sup>7</sup>	Rio Algom	MS, LA, BDR	EC	1999
10	Stanrock <sup>6,7</sup>	Denison Mines Ltd.	MS, LA, BDR	T	1999
	<i>Totaux et moyennes</i>				
11	Cluff Lake <sup>7</sup>	COGEMA	MS, LA, BDR,TS	EX	
12	Key Lake <sup>7</sup>	Cameco	MS, LA, BDR,TS	EX	
13	McClellan Lake <sup>6,7</sup>	COGEMA	CO, LA, BDR, TS	EX	
14	Rabbit Lake	Cameco	MS, LA, BDR,TS	EX	
<b>République tchèque</b>					
15	Rozna	DIAMO	MS, TS, BDR	EX	2020
<b>France</b>					
16	Installation générique	COGEMA	LA, TS, BDR		
<b>Allemagne</b>					
17	Königstein	WISMUT	MS, TS	EC	2015
<b>Hongrie</b>					
18	Mecsek	MEV	MS, TS, TRL	EC	2003
<b>Espagne</b>					
19	Elefante	Enusa	CO, TRL	EC	
20	Quercus	Enusa	CO, LA, BDR	EX	
	<i>Totaux et moyennes</i>				

**Légende :**

CO : mine à ciel ouvert	LAL : lixiviation par voie alcaline	T : réaménagement terminé
MS : mine souterraine	TRL : tas de résidus de LET	I : réaménagement inachevé
TS : tas de stériles	ND : non disponible	EX : mine en exploitation
BDR: bassin de décantation des résidus	EC : réaménagement en cours	° MDL : millions d'unités de devises locales
LA : lixiviation par voie acide		

Tableau 9.3. Coûts de déclassement et de réaménagement de certains complexes intégrés (suite)

Production		Coûts de réaménagement				
Minerai millions (tonnes)	Uranium tonnes	Total		Coûts unitaires (USD)		
		MDL	MUSD	tonnes	kg d'U	
<b>Australie</b>						
1	7,0	7 531	30,4	19,6	2,80	2,60
2	0,6	9 228	10,5	6,8	11,33	0,74
3	2,0	5 193	23,8	15,3	7,67	2,95
	<b>9,6</b>	<b>21 952</b>	<b>64,7</b>	<b>41,8</b>	<b>4,35</b>	<b>1,90</b>
4	ND	ND	32,0	20,6		
<b>Canada</b>						
5	10,0	17 530	23,9	16,1	1,61	0,92
6	63,0	56 060	39,0	26,3	0,42	0,47
7	15,0	9 160	15,0	10,1	0,67	1,10
8	43,0	43 710	25,0	16,8	0,39	0,38
9	ND	ND	20,0	13,5		
10	5,7	10 440	16,0	10,8	1,89	1,03
	<b>136,7</b>	<b>136 900</b>	<b>119,0</b>	<b>80,0</b>	<b>0,59</b>	<b>0,58</b>
11	ND	ND	33,6	22,6		
12	ND	ND	45,6	30,7		
13	0,78	ND	35,0	23,6		
14	ND	ND	29,5	<b>19,9</b>		
<b>République tchèque</b>						
15	12,3	15 978	6 149	177,9	14,46	11,13
<b>France</b>						
16	ND	ND	ND	ND	ND	1,9
<b>Allemagne</b>						
17	27,0	17 000	1 984	1 080,6	40,02	63,57
<b>Hongrie</b>						
18	25,7	21 251	23 129	97,5	3,79	4,59
<b>Espagne</b>						
19	8,0	2 975	4 200	26,9	3,36	9,04
20	6,0	1 955	2 100	13,4	2,24	6,88
	<b>14,0</b>	<b>4 930</b>	<b>6 300</b>	<b>40,3</b>	<b>2,88</b>	<b>8,18</b>

## Notes :

- 19 MAUD en 1985 [10]
- 10 MAUD en 1995, obligation de réaménagement [9]
- 20.6 MAUD en 1991 [10]
- coûts estimatifs en mars 2000 ; argent placé dans des fonds de prévoyance [9]
- 16.25 MCAD en 1985 [10]
- données extraites de la référence [10] sauf McClean Lake [11]
- coûts de réaménagement extraits de la référence [11]
- le coût unitaire [13] est la moyenne des coûts de déclassement et de réaménagement des mines à ciel ouvert et souterraines de Cellier, L'Écarpière et Bessines [23]
- 18 000 MHUF en 1997 [17]



Tableau 9.4. Coûts de déclassement et de réaménagement de certaines installations spéciales

Site	Dernier exploitant	Caractéristiques du site			
		Type	État	Date de fermeture	
<b>Canada</b>					
1	Agnew Lake <sup>1</sup>	ALM-Kerr Addison	MS, LA, BDR	T	1986
2	Madawaska <sup>2</sup>	Madawaska mines	CO, LA, BDR	T	1986
<b>Allemagne</b>					
3	Ellweiler <sup>3</sup>	Gewerkschaft Brunhilde	Études, BDR	T	2000
4	Großschloppen <sup>4</sup>	Esso/CEGB/Interuran	MS	T	1989
5	Höhenstein <sup>5</sup>	Gewerkschaft Brunhilde	MS	T	1993
6	Menzenschwand <sup>6</sup>	Gewerkschaft Brunhilde	MS	T	1992
<b>Espagne</b>					
7	Lobo-G <sup>7</sup>	Enusa	CO, TRL	T	1997
<b>Suède</b>					
8	Ranstad <sup>8</sup>	AB SVAFO	CO, LA, BDR, TS	T	1993
<b>États-Unis</b>					
9	Belfield Plant (ND) <sup>9</sup>	Union Carbide	Cendres de lignite	I	ND
10	Bowman Plant (ND) <sup>9</sup>	Kerr-Mcgee	Cendres de lignite	I	ND
11	Grand Junction Pilot Plants	USAEC	Études	I	ND
12	Lowman (ID) <sup>10</sup>	Porter Brothers	TM, BDR	T	1992
13	Shootaring Canyon (UT)	US Energy	LA, BDR	I	ND

**Légende :**

CO : mine à ciel ouvert      TM : traitement mécanique      ND : non disponible  
 MS : mine souterraine      LA : lixiviation par voie acide      T : réaménagement terminé  
 TRL : tas de résidus de LET      BDR: bassin de décantation des résidus      I : réaménagement inachevé  
 TS : tas de stériles

**Notes :**

- |  |                                  |
|--|----------------------------------|
| 1. 3.3 MCAD en 1986 [10]   | 6. 1.44 MDEM en 1993 [10]        |
| 2. 0.2 MCAD en 1986, seulement couverture du bassin des résidus [10] | 7. 1 300 MESP en 1997 [19]       |
| 3. 43 MDEM en 1999 [16]  | 8. 140 MSEK en 1993 [10].        |
| 4. 1.7 MDEM en 1989 [10]   | 9. Le « minerai » est du charbon |
| 5. 0.93 MDEM en 1993 [10]  | 10. 11.5 MUSD en 1992 [20]       |

Tableau 9.4. Coûts de déclassement et de réaménagement de certaines installations spéciales (suite)

Production		Coûts de réaménagement			
Minerai	Uranium	Total	Coûts unitaires		
tonnes	tonnes	1999	tonnes de minerai	kg d'U	
		MUSD	USD	USD	
<b>Canada</b>					
1	2 300 000	750,0	3,1	1,4	4,2
2	4 460 000	3 675,0	0,2	0,04	0,05
<b>Allemagne</b>					
3	173 000	651,1	23,4	135,4	36,0
4	18 600	30,3	1,2	62,6	38,4
5	13 900	9,1	0,6	39,9	61,0
6	98 900	584,1	0,9	9,0	1,5
<b>Espagne</b>					
7	0,02	136	8,7	433,67	63,77
<b>Suède</b>					
8	ND	200,0	18,0		89,9
<b>États-Unis</b>					
9	44 429	130,0	4,0	90,5	30,9
10	73 140	233,0	2,7	36,2	11,4
11	30 000	50,0	33,3	1 110,0	666,0
12	200 000	33,0	13,7	68,3	413,8
13	15 000	10,0	7,0	466,7	700,0

Tableau 9.5. Taux de change entre le dollar des États-Unis et les devises locales

Pays	Devise	Taux de change
Allemagne	DEM	1,836
Australie	AUD	1,5500
Canada	CAD	1,486
Espagne	ESP	156,170
Hongrie	HUF	237,146
Suède	SEK	8,262
République tchèque	CSK	34,569

Les données rétrospectives de coûts pour les mines déclassées et réaménagées en Allemagne, en Australie, au Canada, en Espagne et en Suède ont été converties tout d'abord en monnaies nationales de 1999 à l'aide des indices des prix à la consommation des pays respectifs [3-7], puis en dollars des États-Unis de 1999. L'indice des prix à la consommation aux États-Unis [8] a aussi servi à convertir les coûts rétrospectifs des chantiers de mine américains du Programme I en dollars des États-Unis de 1999. Les données sur les coûts de tous les autres sites de ce pays sont considérées comme correspondant aux coûts de 1999.

Tous les coûts unitaires sont exprimés en dollars des États-Unis de 1999.

### ***Sources de données***

Les données matérielles et relatives aux coûts qui figurent dans les tableaux 1 à 4 ont été tirées des rapports nationaux communiqués aux fins de cette étude par les organismes participants et des autres données disponibles mentionnées dans les références du présent chapitre. Les sources respectives pour chaque pays s'établissent comme suit : Allemagne : [10,14,15,16] ; Australie : [9] ; Canada : [11] ; Espagne : [19] ; États-Unis : [1,20,21] ; France : [13] ; Hongrie : [17,18] et République tchèque : [12].

### **Analyse des coûts de déclassement et de réaménagement**

Une comparaison des coûts de déclassement et de réaménagement fondée uniquement sur le montant global des coûts ne permettrait pas d'évaluer objectivement la situation mondiale. Il importe de comprendre que, même pour des projets similaires, comme le déclassement des mines souterraines ou des usines de traitement de l'uranium, la portée et l'étendue des travaux matériels peuvent varier considérablement en raison des facteurs mentionnés plus haut. Une ventilation en éléments de coût, tels que la main-d'œuvre, le coût du capital, l'acquisition de technologie, etc. serait utile pour la comparaison entre les pays mais, à nouveau, ces données ne font pas l'objet d'une diffusion générale dans la plupart des cas. Un autre élément de nature à compliquer l'analyse systématique tient à ce que les coûts de réaménagement figurant dans les tableaux 1 à 4 ne prennent pas tous en compte les coûts de démantèlement et de démolition, de réaménagement des terrains utilisés et de traitement des eaux souterraines et des eaux d'exhaure contaminées.

Néanmoins, les données présentées dans les tableaux 1 à 4 montrent certaines tendances, ainsi que les disparités générales entre des projets différents menés dans un même pays et des projets analogues menés dans des pays différents.

### ***Déclassement et réaménagement des mines***

En Allemagne, lorsque les coûts de traitement des eaux sont pris en compte, les coûts unitaires pour le déclassement et le réaménagement des mines sont à peu près trois fois plus élevés qu'en République tchèque. Les coûts supérieurs encourus en Allemagne peuvent être attribués à l'importance des travaux requis pour le déclassement des installations souterraines, afin d'empêcher ultérieurement tout affaissement et tout endommagement de la surface du sol dus au noyage des mines. De plus, les plans de réaménagement des déblais de roche sont très approfondis en Allemagne, parce que les trois sites sont situés dans des régions à forte densité démographique.

Il n'y a pas intérêt, semble-t-il, à comparer les coûts de déclassement et de réaménagement des mines américaines aux coûts pratiqués en Allemagne et en République tchèque. En général, les chantiers tchèques et allemands sont des mines souterraines, tandis que les chantiers américains sont tous des mines à ciel ouvert. En outre, les coûts publiés dans le cas des mines américaines ne tiennent pas compte du traitement des eaux d'exhaure, qui représente un facteur de coût très important en Allemagne et en République tchèque en raison du long délai prévu pour le traitement des eaux.

### ***Déclassement des usines de traitement du minerai***

Les coûts de déclassement des installations de traitement du minerai en Allemagne et des sites du Programme II aux États-Unis sont du même ordre de grandeur, c'est-à-dire entre 1 et 8 dollars des États-Unis par kilogramme d'uranium. Les coûts supérieurs observés en Allemagne s'expliquent peut-être par le fait que les travaux sur les deux sites comportent le réaménagement d'immenses bassins de décantation des résidus (56 millions et 110 millions de tonnes de résidus respectivement à Crossen et à Seelingstädt). Leurs eaux surnageantes doivent être enlevées et traitées avant de pouvoir être rejetées. La mise en place d'un recouvrement sur les résidus, en particulier sur les parties contenant les résidus à grains fins, représente une tâche difficile qui ne peut s'effectuer qu'à l'aide de techniques de pointe onéreuses.

Par contre, les coûts moyens des sites du Programme I aux États-Unis sont d'un ordre grandeur supérieur à ceux correspondant au reste du groupe. Les coûts unitaires seraient encore plus élevés si les coûts de traitement des eaux étaient pris en compte. Bien que les coûts de traitement des eaux ne soient pas disponibles pour chaque site, le Ministère de l'énergie estime que les coûts de restauration des eaux souterraines s'élèvent à 215 millions de dollars des États-Unis [20]. Comme il a été indiqué plus haut, les coûts généralement supérieurs des sites du Programme I s'expliquent par le fait qu'il s'agit de projets pilotes et, peut-être aussi, parce que l'administration du Programme I relève du secteur public.

Il conviendrait toutefois de préciser que certains sites du Programme I (voir tableau 2) comportent des caractéristiques très spécifiques.

À Cononsburg, par exemple, on a extrait du radium par intermittence à partir de 1911, mais on y a traité peu d'uranium. En outre, une partie des résidus a été retraitée. L'installation est située dans une région très peuplée, à proximité de lotissements urbains. Au total, 163 propriétés avoisinantes ont été remises en état. Le terrain prévu pour la construction du dépôt de déchets a aussi été acheté [10].

De même, à Grand Junction, plus de 4 300 propriétés avoisinantes ont été remises en état. Par ailleurs, les résidus de l'usine de traitement ont été transportés par train et camion jusqu'au dépôt de Cheney [10].

Les coûts unitaires de réaménagement du site de Lakeview sont anormalement élevés parce que les matières résiduelles ont été transportées sur une distance de plus de 24 km vers une structure d'évacuation située hors du site [10].

À Monticello, la conception des structures d'évacuation est très élaborée et le nombre de propriétés avoisinantes à remettre en état est très élevé [22].

Si l'on ne tenait pas compte de ces sites, le coût unitaire moyen pour le réaménagement des sites du Programme I tomberait à 19,7 dollars des États-Unis par kilogramme d'uranium.

Les coûts de réaménagement anormalement élevés pour le site de Straz pod Ralskem, en République tchèque, découlent du fait que ce site est exploité par LIS. La majeure partie des coûts est imputable à l'épuration des eaux souterraines [12].

### ***Déclassement et réaménagement des complexes intégrés***

Les différences de coûts entre les sites de ce groupe sont importantes (voir tableau 3). Les installations commerciales fermées en Australie, au Canada et en France ont des coûts de déclassement et de réaménagement moyens compris entre 0,6 et 2 dollars des États-Unis par kilogramme d'uranium. Sur ces sites, c'est l'exploitant qui a entrepris les travaux de réaménagement à ses propres frais dès la fin de l'exploitation.

Dans un second groupe comprenant le complexe de Rozna (République tchèque), les mines et l'usine de traitement de Mecsek (Hongrie), ainsi que les sites d'Elefante et de Quercus (Espagne), les coûts varient entre 7 et 11 dollars des États-Unis par kilogramme d'uranium. Ces sites sont tous situés dans des zones très peuplées. Le réaménagement est effectué par l'exploitant mais le financement pour DIAMO et MEV relève des gouvernements concernés.

À la mine de Königstein (Allemagne), les coûts élevés découlent du fait qu'on y pratiquait la lixiviation souterraine en gradins *in situ* par voie acide. Des efforts importants sont consacrés actuellement à l'épuration et à la protection des aquifères sus-jacents.

Dans le cas des mines et usines de traitement de l'uranium de Key Lake, Rabbit Lake, Cluff Lake et McClean Lake (Canada) et de Ranger (Australie), rien n'a encore été entrepris pour évaluer les coûts de déclassement et de réaménagement de ces installations qui sont toujours en exploitation.

Le cadre réglementaire régissant l'exploitation moderne du minerai d'uranium dans de nombreux pays oblige les producteurs d'uranium à prendre les dispositions nécessaires pour couvrir les coûts de déclassement et de réaménagement. En Australie, au Canada et aux États-Unis, les compagnies se conforment à cette prescription en plaçant des cautions, des lettres de crédit irrévocables ou même des versements directs en espèces tout au long de la période d'exploitation de leurs installations.

Il existe donc une incitation économique à mettre en œuvre des mesures de réaménagement autant que possible durant la phase de production, si bien que les coûts de réaménagement deviennent partie intégrante des coûts d'exploitation. Par conséquent, les coûts de déclassement et de réaménagement de ces installations sont liés aux dispositions financières réglementaires susmentionnées. Ces fonds, qui apparaissent au tableau 3 comme des montants globaux, couvrent uniquement les travaux de réaménagement qui restent à réaliser après la fermeture de la mine et de l'usine de traitement. En Australie et au Canada, les exploitants des mines et usines de traitement de l'uranium modernes ont estimé que les coûts de réaménagement s'élèveraient à moins de 1 dollar des États-Unis par kilogramme d'uranium.

En fait, les sommes importantes requises pour le réaménagement des sites en Allemagne et dans la République tchèque, par exemple, sont imputables à la fermeture prématurée et, partant, à l'absence de planification du déclassement et du réaménagement pendant la durée de vie utile, ainsi que, dans une certaine mesure, au fait que l'évaluation des risques et les analyses coût-avantages n'ont été effectuées qu'une fois prises certaines mesures décisives en matière de réaménagement.

## ***Déclassement et réaménagement des installations spéciales***

Chaque site mentionné dans le tableau 4 est unique en son genre et ne pourrait donc que fausser démesurément les moyennes de son groupe propre.

À la mine d'Agnew Lake, au Canada, on a procédé à des expériences souterraines de lixiviation en gradins *in situ* qui n'ont produit que relativement peu d'uranium [10].

Aux installations de Belfield et Bowman dans le Dakota du Nord, aux États-Unis, on a extrait de l'uranium des cendres de lignites. L'installation de Shootaring Canyon dans l'Utah n'est demeurée en exploitation que pour la période des expériences. À l'installation de Lowman dans l'Idaho, on a traité un produit de dragage extrait d'une rivière, tandis que l'installation de Grand Junction a servi d'usine pilote d'où l'on a extrait peu de minerai et produit peu d'uranium, ce qui explique pourquoi les coûts unitaires sont élevés, mais non représentatifs [20].

Tous les sites allemands faisant partie de ce groupe étaient des installations expérimentales à faible volume de production [10].

La mine et l'usine de traitement de Randstad, en Suède, n'ont fonctionné que pendant quelques années, soit entre 1965 et 1969, comme installation pilote. Le réaménagement a commencé après un délai de presque 20 ans, en 1990. Les activités de réaménagement avaient aussi le caractère d'un projet pilote [10], ce qui pourrait en expliquer les coûts unitaires élevés.

L'installation espagnole de Lobo-G a servi d'installation expérimentale de lixiviation en tas.

## **Références**

- [1] US Department of Energy (2000), voir le rapport national des États-Unis.
- [2] CIA World Fact Book, <http://www.cia.gov/cia/publications/factbook/indexgeo.html>.
- [3] Australian Bureau of Statistics, <http://web.one.net.au/~webtoolbox/cpi.htm>.
- [4] Statistique Canada, <http://www.statcan.ca/english/Pgdb/Economy/Economic/econ46.htm>.
- [5] Statistisches Bundesamt, <http://www.statistik-bund.de/indicators/d/prtab03.htm>.
- [6] Banco de España, <http://www.bde.es/indicee.htm>.
- [7] Statistica Centralbyran, Suède, <http://www.scb.se/snabb/priser/kpi80en.htm>.
- [8] US Department of Labor, <ftp://ftp.bls.gov/pub/special.requests/cpi/cpi.txt>.
- [9] Waggitt P. (2000), *Australian U mine decommissioning cost estimates* (communication personnelle).
- [10] UEB-Uranerzbergbau GmbH (1994), *Kosten der Stilllegung und Sanierung von Urangewinnungsprojekten im internationalen Vergleich*.

- [11] EACL, Bureau sur la gestion des déchets de faible activité (2000), voir le rapport national du Canada.
- [12] DIAMO s.p. (2000), voir le rapport national de la République tchèque.
- [13] COGEMA (2000), voir le rapport national de la France.
- [14] WISMUT GmbH (2000), *Estimate of total remediation costs* (communication personnelle).
- [15] UEB-Uranerzbergbau GmbH (1995), *Kosten der Stilllegung und Sanierung des Wismut-Projektes*.
- [16] Feser (1999), *Ellweiler Remediation Cost* (communication personnelle).
- [17] Geo Faber Corp. (2000), voir le rapport national de la Hongrie.
- [18] Csövary M. (2000), *Hungarian U production figures* (communication personnelle).
- [19] ENUSA (2000), voir le rapport national de l'Espagne.
- [20] Pool T. et Smith L., *Data Compilation and Analysis of Costs Relating to Environmental Restoration of US Uranium Production Facilities*, US Department of Energy, voir le rapport national des États-Unis.
- [21] US Department of Energy (1995), *Decommissioning of US Uranium Production Facilities*, DOE/EIA 0592, Distribution Category UC 950.
- [22] US Department of Energy – Grand Junction Office (2000), *Monticello – A look at this unique cleanup project*, Grand Junction Office Perspective, Vol. 6, Winter 2000.

## • Allemagne •

### **Politiques et réglementation des pouvoirs publics**

Le déclassement et le réaménagement des mines d'uranium en Allemagne sont régis par un certain nombre de lois, décrets et directives pris au niveau fédéral [*Bund*] et à celui des États de la Fédération [*Länder*]. Parmi les plus importants de ces textes figurent les lois et décrets fédéraux examinés ci-après.

#### ***Loi minière fédérale (Bundesberggesetz – BbergG, 13 août 1980)***

Le fondement juridique de l'exécution des projets de prospection et d'exploitation de l'uranium et du réaménagement de ces sites dans l'ancienne Allemagne de l'Ouest était la Loi minière générale [*Allgemeines Berggesetz – ABG*] et, depuis 1980, la Loi minière fédérale [*Bundesberggesetz – BbergG*]. Ces lois stipulent que dans la procédure d'autorisation, les services d'inspection des mines tiennent compte des prescriptions contenues dans d'autres règlements concernant, par exemple, la protection des eaux et la radioprotection.

#### ***Décret relatif à la radioprotection (Strahlenschutzverordnung, tel que modifiée le 30 juin 1989)***

Étant donné qu'il n'existait pas dans l'ancienne Allemagne de l'Ouest d'importantes activités d'extraction et de production d'uranium, le Décret relatif à la radioprotection ne couvre la situation particulière des exploitations minières d'uranium que de façon marginale. La prospection, l'extraction et le traitement des ressources en minéraux radioactifs n'ont été inclus dans ce Décret qu'à des fins d'exhaustivité, et il n'a pas été tenu compte des exigences et conditions spécifiques aux opérations d'extraction de l'uranium. En conséquence, le Décret n'est pas pleinement applicable au réaménagement des tas de stériles, des bassins de décantation des résidus et des zones où se trouvent les installations. Pour cette raison, le traité de réunification de l'Allemagne stipule que la réglementation de l'ex-RDA (République démocratique allemande) sur la radioprotection doit continuer à s'appliquer au déclassement et au réaménagement des sites des mines d'uranium.

#### ***Décret sur la garantie de la sûreté nucléaire et de la radioprotection (VOAS, 11 octobre 1984)***

Ce Décret a été pris par le gouvernement de l'ex-RDA. Il a été repris par l'accord de réunification car il renferme des dispositions ayant trait aux exigences et conditions spécifiques de l'extraction et du traitement du minerai d'uranium. Il est toujours en vigueur pour le déclassement et le réaménagement des mines d'uranium de Saxe et de Thuringe.



### ***La Loi Wismut (Wismut Gesetz, 12 décembre 1991)***

La Loi Wismut régit les compétences du gouvernement fédéral visant le déclassement et le réaménagement des installations d'extraction et de traitement du minerai d'uranium exploitées par l'ancienne société germano-soviétique Wismut. Cette Loi donne mandat à la société Wismut GmbH nouvellement constituée de fermer les anciennes mines et de réaménager les sites connexes.

### ***Autres législations et réglementations fédérales***

Les autres législations et réglementations fédérales à prendre en considération dans la procédure d'autorisation relative au déclassement et au réaménagement sont les suivantes :

- Loi atomique [Atomgesetz].
- Décret relatif à la radioprotection [*Strahlenschutzverordnung – StrlSchV*].
- Loi fédérale sur la protection contre les nuisances [*Bundes-Immissionsschutzgesetz*].
- Loi sur la responsabilité environnementale [*Umwelthaftungsgesetz*].
- Loi sur l'approvisionnement en eau [*Wasserhaushaltsgesetz – WHG*].
- Loi sur les taxes d'eaux usées [*Abwasserabgabengesetz – AbwAG*].
- Décret sur l'alimentation en eau potable [Trinkwasserverordnung].
- Loi sur les déchets [*Abfallgesetz*].
- Décret sur la supervision des déchets [*Abfall- und Reststoffüberwachungs-Verordnung – AbfRestÜberwV*].
- Code fédéral de la construction [*Baugesetzbuch – BauGB*].
- Loi sur l'aménagement du territoire [*Raumordnungsgesetz – ROG*].
- Loi fédérale sur la protection de la nature [*Bundesnaturschutzgesetz – BNatSchG*].
- Loi fédérale sur les forêts [*Bundeswaldgesetz*].

Sur la base des lois et décrets fédéraux, c'est aux gouvernements des Länder qu'il appartient de délivrer les autorisations relatives à des activités particulières de déclassement et de réaménagement. Dans cette procédure ils prendront en considération un certain nombre de textes législatifs et réglementaires du Land concerné, principalement ceux visant la protection de l'air, de l'eau et du sol. Le gouvernement fédéral est seul compétent pour réglementer tous les aspects ayant trait aux questions nucléaires, notamment à l'extraction et au traitement du minerai d'uranium. Cela confère aux autorités fédérales le pouvoir de superviser les activités des gouvernements des Länder en matière de délivrance des autorisations en ce qui concerne les aspects relevant des décrets relatifs à la radioprotection et à la sûreté nucléaire.

En outre les directives concernant la réutilisation des terrains et matériaux ayant servi pour l'extraction et le traitement du minerai d'uranium, qui ont été formulées par la Commission de radioprotection [*Strahlenschutzkommission – SSK*], sont prises en compte pour décider s'il est nécessaire d'entreprendre un réaménagement ou si le terrain, les matériaux ou l'équipement peuvent être libérés sans restriction. Ces directives se fondent sur le principe d'une dose de 1 mSv/an. D'après ce principe, nul ne doit être exposé à un équivalent de dose supplémentaire dépassant 1 mSv/an du fait qu'il réside dans ou à proximité d'un site ou qu'il utilise des équipements ou matériaux antérieurement utilisés pour l'extraction ou le traitement du minerai d'uranium.

Figure 1. Localisation des mines et installations de traitement de l'uranium en Allemagne



1. Mine souterraine de Menzenschwand, Bade-Württemberg.
2. Mine à ciel ouvert et usine de traitement d'Ellweiler, Rhénanie-Palatinat.
3. Mine souterraine de Wäldel, Bavière.
4. Mine souterraine de Höhenstein, Bavière.
5. Mine souterraine de Großschloppen, Bavière.
6. Mine souterraine d'Aue, Saxe.
7. Usine de traitement de Crossen, Saxe.
8. Mine à ciel ouvert et souterraine de Ronneburg, Thuringe.
9. Mine souterraine de Königstein, Saxe.
10. Mine souterraine de Gittersee, Saxe.
11. Usine de traitement Seelingstädt, Thuringe.

**Légende :**

- Mecklenburg-Vorpommern = Mecklembourg-Poméranie Antér.
- Brandenburg = Brandebourg
- Sachsen-Anhalt = Saxe-Anhalt
- Sachsen = Saxe
- Thüringen = Thuringe
- Niedersachsen = Basse Saxe
- Hamburg = Hambourg
- Bremen = Breme
- Nordrhein-Westfalen = Rhénanie du Nord-Westphalie
- Rheinland-Pfalz = Rhénanie Palaninat
- Hessen = Hesse
- Saarland = Sarre
- Baden-Württemberg = Bade-Württemberg
- Bayern = Bavière

## **Historique de l'exploitation minière de l'uranium en Allemagne**

L'exploitation minière commerciale de l'uranium en Allemagne remonte à la fin de la Seconde guerre mondiale et a pris un cours très différent dans les deux parties du pays alors divisé.

Les opérations d'extraction et de traitement du minerai d'uranium en Allemagne de l'Est ont été menées sur une grande échelle. En 1990, l'ex-RDA avait produit approximativement 232 000 tonnes d'uranium, ce qui la situait au troisième rang mondial après les États-Unis et le Canada.

C'est en Allemagne de l'Est, que l'exploitation minière commerciale de l'uranium a débuté en 1946 dans la région d'Aue des Erzgebirge (Monts métallifères), ancien district de mines d'argent situé en Saxe. Sur ce site, à l'automne de 1945, des géologues soviétiques ont entrepris d'évaluer d'anciens relevés géologiques, et vers 1946 on y a extrait pour la première fois du minerai d'uranium. En 1947, a été constituée la société SAG Wismut appartenant à l'Union soviétique, qui a été transformée en 1954 en SDAG Wismut, société d'État germano-soviétique. Chaque État détenait une participation de 50 % dans cette société. Après la réunification, le Gouvernement soviétique a transféré sa participation dans la société au Gouvernement allemand, qui est devenu le seul propriétaire de Wismut à partir de 1991. Ultérieurement le statut juridique de la société binationale SDAG Wismut a été transformé en société à responsabilité limitée, à savoir Wismut GmbH.

Des raisons économiques et écologiques ont incité les Gouvernements allemand et soviétique à se mettre d'accord sur la fermeture de toutes les activités d'extraction et de traitement menées par la société Wismut avant même que le Gouvernement allemand n'en devienne le propriétaire exclusif. Vers la fin de 1990, toutes les activités de production avaient été arrêtées.

En Allemagne de l'Ouest, les activités d'extraction et de traitement du minerai d'uranium n'ont démarré que vers la fin des années 60 et seulement à une échelle réduite et préliminaire. Des sociétés à capitaux privés ont mené toutes ces activités d'extraction et de traitement. Vers 1990, la totalité des travaux exploratoires d'extraction et de traitement avaient également pris fin en Allemagne de l'Ouest.

## **Réaménagement des mines d'uranium**

Alors que le réaménagement des mines d'uranium en Allemagne de l'Ouest est pour l'essentiel achevé, les travaux de remise en état se poursuivent encore en Allemagne de l'Est sur les sites exploités par la société Wismut GmbH. D'autres sites en Saxe, en Thuringe et en Saxe-Anhalt, qui étaient antérieurement utilisés par la société SDAG Wismut et son précurseur SAG Wismut, mais qui relèvent désormais de la juridiction des autorités des Länder en question, n'ont que peu ou pas connu jusqu'à présent de travaux de réaménagement. La Figure 1 indique la localisation des sites d'extraction et de traitement du minerai d'uranium, qui sont actuellement en cours de réaménagement ou sur lesquels ces travaux sont achevés.

### ***Réaménagement des sites de la société Wismut***

Quarante années d'intense exploitation minière en Allemagne de l'Est ont laissé un important passif. Lorsque les opérations ont cessé en 1990, les sites de la société Wismut représentaient une superficie d'approximativement 36 km<sup>2</sup>. Ils renfermaient un grand nombre de puits, de tas de stériles, de stockage de minerai de teneur insuffisante, de bâtiments contaminés, plusieurs bassins de décantation des résidus, 4 grandes mines souterraines et une mine à ciel ouvert. Le tableau 1 présente la situation à la fin de 1990.

Tableau 1. Nombre et importance des éléments au passif de la société Wismut en 1990

	Aue	Königstein	Ronneburg	Seelingstädt	Total
Superficie (ha)	570	140	1 600	1 300	<b>3 610</b>
Puits (nombre)	8	10	38	0	<b>56</b>
Tas de stériles	37				
• Nombre	340	3	16	9	<b>65</b>
• Superficie (ha)	45	40	600	500	<b>1 480</b>
• Volume (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )		4	190	70	<b>309</b>
Bassins de décantation des résidus					
• Nombre	1	3	3	7	<b>14</b>
• Superficie (ha)	4	5	9	700	<b>718</b>
• Volume (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	0.3	0.2	0.3	160	<b>160,8</b>
Chantiers d'exploitation					
• Superficie (km <sup>2</sup> )	30	7	70	0	<b>107</b>
• Galeries, etc. (km)	240	110	1 000	0	<b>1 350</b>
Mines à ciel ouvert					
• Nombre	0	0	1	0	<b>1</b>
• Superficie (ha)	0	0	160	0	<b>160</b>
• Volume (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	0	0	84	0	<b>84</b>

Le gouvernement fédéral a affecté au total 13 000 millions de DEM dans le cadre du budget fédéral au réaménagement des sites de la société Wismut. Les fonds sont alloués chaque année par le Ministère fédéral de l'économie et de la technologie. Le Ministère a confié à la société Wismut GmbH la mission d'optimiser les effets écologiques, économiques et sociaux dans la planification et l'exécution des travaux de déclassement, de dépollution et de réaménagement des installations d'extraction et de traitement du minerai d'uranium.

À la fin de 1999, la société Wismut avait dépensé quelque 6,2 milliards de DEM pour la planification, la préparation et la mise en œuvre des mesures de réaménagement. Les plans financiers à moyen-terme prévoient de consacrer 2,4 milliards de DEM supplémentaires au réaménagement au cours de la période 2000 à 2004. L'achèvement du projet, qui doit être réalisé entre 2010 et 2015 pour les divers sites, exigera 4,4 milliards de DEM supplémentaires.

### Fermeture des mines souterraines

La méthode choisie pour le réaménagement des mines souterraines par la société Wismut consiste à les noyer. Avant d'autoriser le noyage de ces mines, il est nécessaire de prendre un certain nombre de mesures préparatoires :

- Élimination des graisses et/ou huiles et produits chimiques dangereux présents dans les mines souterraines.
- Isolation par des serrements et scellement des diverses zones minières de manière à pouvoir contrôler la circulation des eaux et de l'air.
- Remblayage des galeries d'exploitation qui peuvent provoquer des affaissements en surface.
- Rebouchage et colmatage des puits, galeries à flanc de coteau et trous de sondes de grand diamètre.

Le noyage a effectivement débuté dans les mines souterraines de Gittersee, Ronneburg et Aue. À Königstein, le noyage de la mine doit commencer en 2001.

Depuis le début des travaux de réaménagement, la société Wismut GmbH a dépensé environ 3 milliards de DEM pour les opérations de nettoyage en souterrain destinées à préparer le noyage. Le tableau 2 indique l'état d'avancement du réaménagement des mines souterraines à la fin de 1999.

Tableau 2. **Réaménagement des mines souterraines**

Activités	Résultats obtenus	État d'achèvement en %
Nettoyage et abandon des excavations à ciel ouvert	1 300 km	93
Construction de serremments souterrains	170 unités	92
Colmatage et scellement des puits ouverts	46 unités	80
Remblayage des galeries d'exploitation proches de la surface	125 000 m <sup>3</sup>	69
Noyage	45 millions de m <sup>3</sup>	64

### Réaménagement des tas de stériles

Pendant l'exploitation minière active de l'uranium, l'accumulation de minerai de teneur insuffisante, de stériles et de morts terrains a engendré 48 haldes de stériles sur différents sites de la société Wismut GmbH. À la fin de l'extraction du minerai d'uranium, ces haldes renfermaient approximativement 310 millions de m<sup>3</sup> de stériles et couvraient une superficie d'environ 1 500 ha.

La société Wismut GmbH a adopté deux démarches différentes pour réaménager les haldes de stériles, consistant à :

- Déplacer les tas de stériles vers la mine à ciel ouvert épuisée de Ronneburg ou des sites ouvragés.
- Un réaménagement *in situ*.

Le choix entre ces deux options dépend des conditions locales. Le tableau 3 présente le stade de réaménagement des haldes de stériles atteint à la fin de 1999.

Tableau 3. **Réaménagement des haldes de stériles**

Activités	Résultats obtenus	État d'achèvement en %
Excavation des stériles	60 millions de m <sup>3</sup>	40
Mise en place des stériles	10 millions de m <sup>3</sup>	56
Remblayage de la mine à ciel ouvert	51 millions de m <sup>3</sup>	42
Remodelage des haldes de stériles	2 millions de m <sup>3</sup>	40
Couverture des haldes de stériles	1 million de m <sup>3</sup>	20
Remise en végétation des haldes de stériles	275 ha	20

### Démantèlement et démolition

Les installations et bâtiments appartenant à la société Wismut GmbH sont en majorité destinés à être démantelés et démolis. La poursuite de leur utilisation est impossible pour diverses raisons.

À la société Wismut, l'acier exempt de contamination radioactive sera recyclé en vue d'être refondu. Les débris de démolition sont concassés avant d'être réutilisés à diverses fins dans le cadre du projet Wismut, par exemple dans des couches destinées à recouvrir provisoirement les bassins de décantation des résidus. Les produits en amiante-ciment seront évacués dans une installation de stockage de déchets dangereux.

Après approbation du point de vue réglementaire, les matériaux présentant une contamination radioactive (rebuts, décombres, bois d'œuvre et autres, sol de déblai, par exemple) sont soit évacués en souterrain dans des galeries d'exploitation abandonnées, soit en surface où ils sont intégrés à des tas de stériles, des bassins de décantation des résidus ou dans la mine à ciel ouvert de Lichtenberg. Le sol de déblai qui est contaminé à la fois par des radionucléides et des hydrocarbures fera d'abord l'objet d'une réduction de sa teneur en hydrocarbures avant de pouvoir être évacué dans la mine à ciel ouvert de Lichtenberg ou d'une incorporation dans des déblais de déchets. La contamination par les hydrocarbures est traitée par voie microbiologique dans des installations d'épuration provisoires sur le terrain de la société Wismut.

Les travaux de démolition sur les sites de la société Wismut ont produit plus de 520 000 m<sup>3</sup> de débris et approximativement 140 000 tonnes de ferraille depuis le début des opérations de nettoyage. Le tableau 4 indique le niveau de démantèlement et de démolition atteint à la fin de 1999.

Tableau 4. **Démantèlement et démolition**

Activités	Résultats obtenus	État d'achèvement en %
Décombres de démolition	520 000 m <sup>3</sup>	70
Ferraille	140 000 tonnes	70

### **Réaménagement des bassins de décantation des résidus**

Le réaménagement des bassins de décantation des résidus a pour objectif d'assurer un stockage sûr à long terme de ces résidus en les isolant de l'atmosphère, de la biosphère et de l'hydrosphère dans toute la mesure du possible. Les techniques appliquées pour y parvenir doivent permettre de faire en sorte que les émissions par voie atmosphérique ou par l'intermédiaire de l'eau soient réduites au minimum afin de respecter les prescriptions réglementaires.

À la société Wismut, ces objectifs vont être atteints par une stabilisation *in situ* des résidus. La poursuite de la planification se fondera sur cette méthode générale alors que les détails de conception (détermination des courbes de niveau, couverture, collecte des eaux d'infiltration, végétation, etc.) doivent être optimisés pour chaque bassin de décantation des résidus considéré.

La stabilisation des bassins de décantation des résidus comportera les étapes suivantes :

- Élimination, traitement et rejet de l'eau surnageante des bassins.
- Couverture provisoire des zones de résidus à nu.
- Remodelage des digues et des surfaces.
- Couverture définitive des surfaces modelées.
- Traitement paysager et restauration du couvert végétal.
- Collecte, traitement et rejet des eaux d'infiltration.
- Surveillance à long terme.

En ce qui concerne la stabilisation des bassins de décantation des résidus, l'élimination de l'eau des bassins est une condition préalable. Les radionucléides et autres contaminants présents dans les eaux surnageantes et de porosité doivent être éliminés et solidifiés. À cet effet, la station d'épuration installée sur le site de Helmsdorf en vue de traiter l'eau des bassins de décantation des résidus de Helmsdorf et de Dänkritz 1 est en service depuis le milieu de 1995. À la fin de 1999, cette installation avait traité quelque 7 millions de m<sup>3</sup> d'eau des bassins. Les résidus solidifiés issus du procédé d'épuration sont déposés dans un site de stockage ouvragé à l'intérieur de l'installation de Helmsdorf où ils seront enrobés dans le cadre de la mise en place de la couverture définitive. Une autre station d'épuration est en construction dans l'autre zone comportant d'importants bassins de décantation des résidus située à Seelingstädt.

La mise en place d'une couverture temporaire a atteint divers stades de réalisation sur les différents sites. Le tableau 5 indique l'état des mesures de réaménagement des bassins de décantation des résidus à la fin de 1999.

Tableau 5. **Réaménagement des bassins de décantation des résidus**

Activités	Résultats obtenus	État d'achèvement en %
Élimination de l'eau des bassins	160 millions de m <sup>3</sup>	80
Mise en place de la couverture temporaire	350 ha	61
Mise en place de la couverture définitive	0 ha	0

## Épuration des eaux

Les eaux contaminées provenant des opérations de réaménagement menées par la société Wismut doivent être collectées et traitées dans des stations d'épuration spéciales afin de protéger de la pollution les eaux souterraines et de surface. Il s'agit principalement :

- de l'eau de noyage : eau souterraine qui est pompée à partir d'une mine à des fins de maîtrise du noyage ou qui déborde à la surface lorsque le noyage de la mine est achevé ;
- des eaux des bassins et de porosité : eaux de traitement et précipitations présentes dans les bassins de retenue des résidus ;
- des infiltrations : infiltrations d'eau de surface et de porosité provenant des haldes de stériles et des digues des bassins de décantation des résidus.

Selon les conditions propres au site, l'élimination et l'immobilisation des contaminants entraînent des exigences différentes en matière d'épuration des eaux. Le large éventail de méthodes de traitement en usage ou envisagées comprend l'échange d'ions, les techniques de précipitation de même que l'ultrafiltration et l'osmose inverse.

Depuis que la société Wismut GmbH a entrepris de réparer les dommages à sa charge du fait de ses activités d'extraction de minerai d'uranium, l'épuration des eaux a constitué l'une des principales tâches inscrites au programme de cette société. Au cours des neuf dernières années, approximativement 200 millions de m<sup>3</sup> d'eau contaminée ont été traités. L'épuration des eaux a généré près de 500 000 m<sup>3</sup> de résidus, qui ont été convenablement éliminés. Les coûts d'épuration des eaux s'élèvent à ce jour à quelque 300 millions de DEM.

L'épuration des eaux demeurera une exigence au cours des décennies à venir. Après la fermeture et le réaménagement des mines, des bassins de décantation des résidus et des haldes de stériles, de l'eau contaminée continuera de s'écouler ou de suinter à partir de ces structures pendant un certain temps et devra être traitée.

## Réaménagement de divers sites en Allemagne de l'Ouest

A partir du début des années 60, cinq mines d'uranium et une usine de traitement du minerai ont été exploitées en Allemagne de l'Ouest, à savoir :

- Mine à ciel ouvert d'Ellweiler, en Rhénanie-Palatinat
  - Période d'exploitation : 1960-1972.
  - Production : 57 400 t de minerai ayant une teneur d'environ 0,03 % d' $U_3O_8$ , soit un total de 15,3 t d' $U_3O_8$ .
  - Réaménagement : 1972.
  - Coût de réaménagement : données non disponibles.
- Mine de Menzenschwand, en Bade-Wurtemberg
  - Période d'exploitation : 1961-1990.
  - Production : 98 900 t de minerai ayant une teneur d'environ 0,7 % d' $U_3O_8$ , soit un total de 687,2 t d' $U_3O_8$ .
  - Réaménagement : 1991-1993.
  - Coût du réaménagement : 1,496 million de DEM.
- Mine de Wäldel, en Bavière
  - Période d'exploitation : 1969-1982.
  - Production : 4 800 t de minerai ayant une teneur d'environ 0,06 % d' $U_3O_8$ , soit un total de 1,36 t d' $U_3O_8$ .
  - Réaménagement : 1993-1994.
  - Coût du réaménagement : 5,923 millions de DEM.
- Mine d'Höhenstein, en Bavière
  - Période d'exploitation : 1978-1982.
  - Production : 13 900 t de minerai ayant une teneur d'environ 0,08 % d' $U_3O_8$  soit un total de 10,8 t d' $U_3O_8$ .
  - Réaménagement : 1993.
  - Coût du réaménagement : 0,926 million de DEM.
- Mine de Großschloppen, en Bavière
  - Période d'exploitation : 1984-1987.
  - Production : 18 600 t de minerai ayant une teneur d'environ 0,19 % d' $U_3O_8$ , soit un total de 35,7 t d' $U_3O_8$ .
  - Réaménagement : 1989.
  - Coût du réaménagement : 1,729 millions de DEM.



La production totale de ces cinq mines s'est élevée à 750,6 t d' $U_3O_8$  (636,5 t d'U).

- Usine de traitement du minerai d'Ellweiler, en Rhénanie-Palatinat
  - Période d'exploitation : 1960-1989.
  - Minerai traité : 173 300 t.
  - Production : 766,6 t d' $U_3O_8$  (650 t d'U).
  - Zone couverte par les déblais de minerais : environ 25 000 m<sup>2</sup>.
  - Superficie des tas de résidus miniers : environ 27 000 m<sup>2</sup>.
  - Réaménagement : 1998-2000.
  - Coût du réaménagement : 43 millions de DEM.

L'usine d'Ellweiler a été établie en 1960 près de Birkenfeld, en Rhénanie-Palatinat, en tant qu'installation de recherche et a d'abord été alimentée en minerai provenant de la mine à ciel ouvert d'Ellweiler. À partir de 1961, elle a reçu du minerai provenant de la mine de Menzenschwand. Au cours des années 70, l'usine d'Ellweiler a aussi traité une partie du minerai provenant des mines de Wäldel et de Höhenstein. Dans le cadre d'une « procédure de substitution », le gouvernement du Land de Rhénanie-Palatinat a commandé et dirigé les travaux de réaménagement sur ce site, car l'ancien exploitant de l'usine est devenu insolvable.

## • Argentine •

Depuis le début des années 50, des gisements de minerai d'uranium ont été exploités en Argentine et des concentrés d'uranium ont été produits par différents procédés métallurgiques sur plusieurs sites.

À la fin de la phase de production, l'exploitant a entrepris le déclassement des installations en conformité avec les procédures approuvées par l'autorité réglementaire. Les résidus provenant du traitement ont été confinés et surveillés afin d'éviter leur dispersion dans l'environnement, sans toutefois faire l'objet d'une évacuation définitive.

Les règles et normes présentement admises au plan international proposent la gestion appropriée des résidus avec pour objectif de restituer l'écosystème perturbé à la collectivité dans un état, soit identique ou analogue à ce qu'il était initialement.

On s'est rendu compte qu'il était nécessaire d'adapter aux conditions existant dans le pays, l'expérience acquise au plan international. En conséquence, il était essentiel d'appliquer une méthodologie analytique interdisciplinaire qui permette de comprendre les relations existant entre les systèmes écologiques et la répartition des polluants radiologiques et non radiologiques.

C'est pourquoi, la Commission nationale de l'énergie atomique [*Comisión Nacional de Energía Atómica – CNEA*] a élaboré le « Projet de réaménagement de l'environnement des sites de résidus d'uranium » qui consiste à concevoir et à mettre en œuvre un plan intégré de gestion.

Le présent rapport décrit la situation actuelle en Argentine, le cadre juridique et la conception technique mise au point pour la fermeture et le réaménagement du Complexe de Malargüe.

## **Résidus d'extraction et de traitement de l'uranium**

Il existe en Argentine plusieurs sites comportant des résidus d'extraction et de traitement de l'uranium. Ils sont encore placés sous le contrôle de l'exploitant, dans l'attente de mesures de réaménagement. Il s'agit des complexes de Malargüe, de Huemul et de San Rafael dans la province de Mendoza ; des complexes de Córdoba et de Los Gigantes dans la province de Córdoba ; du complexe de Tonco dans la province de Salta ; du complexe de Pichiñán dans la province de Chubut ; du complexe de La Estela dans la province de San Luis et de Los Colorados dans la province de La Rioja.

## **Cadre juridique et réglementaire**

### *Législation nucléaire*

La Loi nationale N°24.804 sur les activités nucléaires [*Ley Nuclear*] du 2 avril 1997 nomme la CNEA et l'Autorité de réglementation nucléaire [*Autoridad Regulatoria Nuclear – ARN*] comme les deux organismes responsables de la définition de la politique, de la recherche et du développement, de la réglementation et du contrôle dans le secteur nucléaire.

La CNEA est l'organisation chargée de promouvoir les activités nucléaires. Il lui incombe en particulier : d'assurer la gestion des déchets radioactifs ; de définir les procédés de déclasséement des centrales nucléaires et autres installations radioactives ; et d'effectuer les travaux d'exploration des niveaux à usage nucléaire. L'ARN est responsable de la réglementation et du contrôle des activités nucléaires afin d'assurer la sûreté et la protection radiologique, ainsi que de l'octroi d'autorisations et de la surveillance des installations nucléaires par des inspections.

Conformément à la Loi, une autorisation est nécessaire pour effectuer une activité nucléaire quelle qu'elle soit. La Loi couvre également la responsabilité civile de l'exploitant en cas de dommage nucléaire. Les exploitants des centrales nucléaires doivent également contribuer au fond pour le déclasséement des centrales. À cet égard, la mise en œuvre du Décret N°1390/98 du 27 novembre 1998 établit trois fonds pour garantir le financement du déclasséement d'Atucha I, Embalse et d'Atucha II.

### ***Norme fondamentale de sûreté radiologique [Norma Básica de Seguridad Radiológica] AR 10.1.1 de 1995***

Cette norme a pour finalité de parvenir à un niveau approprié de protection de la population contre les risques liés à l'exposition aux rayonnements ionisants. Elle régit également la sûreté radiologique des installations ou des pratiques. Le champ d'application de cette norme est limité à la seule protection des êtres humains. On estime que des normes de protection, qui sont suffisantes à cet effet, permettront aussi de garantir qu'aucune autre espèce ne sera menacée dans son ensemble. La norme comporte des prescriptions visant les pratiques et les interventions. L'autorité compétente en la matière est l'ARN, qui n'est une autorité réglementaire normative.

### *Prescriptions visant les résidus d'extraction et de traitement de l'uranium*

Dans le cadre de la Norme AR 10.1.1 on trouve les prescriptions RQ 86 et RQ 85 visant la gestion des résidus d'uranium des complexes de Malargüe et de Córdoba. Elles stipulent que le groupe critique ne doit pas recevoir une dose supérieure à 0,1 mSv par an et qu'il y a lieu d'assurer la gestion à long terme des déchets. À l'heure actuelle, la norme fixant la limite de dose à 0,1 mSv/an fait l'objet d'un examen.

### ***Code minier (CM)***

Le Code minier [*Código de Minería – CMIN*] N°22.259 d'août 1980 stipule que l'exploitation minière doit être menée conformément aux règles de police, de sûreté et de sauvegarde de l'environnement. Le Code minier établit le cadre de la législation en matière de protection de l'environnement.

Les agences de protection de l'environnement et d'exploitation minière dans chaque province sont les autorités chargées de faire appliquer le code. Le champ d'application de ce code couvre :

- Les activités minières telles que la prospection, l'exploration, le traçage, etc.
- Les activités de traitement telles que le concassage et broyage, etc.
- La gestion des déchets.

Les parties (exploitants) qui entreprennent une activité doivent soumettre une évaluation des incidences sur l'environnement. Une étude d'impact sur l'environnement doit être établie.

L'évaluation du point de vue de l'environnement a pour objet de déterminer les incidences qu'un projet est susceptible d'avoir sur l'environnement physique, biologique et socio-économique. L'objectif visé est de définir des mesures correctives pour les répercussions importantes et, en fin de compte, de juger du caractère acceptable du projet et de mettre en balance les incidences potentielles et les avantages escomptés.

### ***Loi sur la gestion des déchets radioactifs***

La Loi N°250/18 sur la gestion des déchets radioactifs [*Ley de Gestión de Residuos Radioactivos*], promulguée le 19 octobre 1988, établit le cadre légal et les conditions techniques définissant la gestion des déchets radioactifs en Argentine de façon à assurer la protection de l'environnement et de la santé publique et à préserver les droits des générations futures. Cette gestion couvre toutes les activités nécessaires pour éliminer de la biosphère les déchets radioactifs issus des activités nucléaires jusqu'à un niveau de radioactivité ne présentant pas de danger pour l'homme ou l'environnement.

La CNEA est l'organisme responsable de l'application correcte de cette loi. Elle y fait en sorte que les exigences de sûreté radiologique et de protection physique soient observées au cours des activités de gestion de déchets.

L'application d'une installation qui produit des déchets radioactifs est responsable de leur traitement et contrôle jusqu'à ce qu'ils soient transmis à la Commission qui détermine les critères relatifs à l'acceptation des déchets et aux conditions de leur transport. L'exploitant ne peut se dégager

de sa responsabilité en cas de dommages à des individus ou à l'environnement qu'après que cette responsabilité ait été transférée à la Commission.

Enfin, un fond est établi pour assurer le financement du plan stratégique de gestion des déchets radioactifs. Ce fond est alimenté par les contributions des producteurs des déchets radioactifs qui sont calculées en fonction de la nature et du volume des déchets produits et d'autres critères relatifs à la façon dont ces déchets sont produits.

### **Projet de réaménagement de l'environnement des sites de résidus d'uranium**

Ce projet a pour objectif la gestion des résidus d'extraction et de traitement de l'uranium et le réaménagement des sites. Il s'agit d'atténuer et de contrôler les incidences sur l'environnement tout en tenant compte des réglementations provinciales, nationales et internationales pertinentes. Le champ d'application du projet couvre les travaux et recherches en vue du réaménagement. Ces activités consistent à mettre en œuvre des travaux de réaménagement de même qu'à procéder à des audits du point de vue de l'environnement, à des évaluations des incidences sur l'environnement, à des analyses de risque, à des consultations du public et à la préparation des plans et études d'ingénierie relatifs à chacun des sites.

#### ***Complexe de Malargüe***

Ce complexe est situé à environ 500 mètres au nord-est de la bordure septentrionale de la ville de Malargüe, elle-même sise à 420 km au sud de la ville de Mendoza, capitale de la province. Environ 700 000 tonnes de résidus d'uranium ont été évacuées au cours des 32 années d'exploitation de l'installation de Malargüe. La teneur moyenne du minerai d'uranium traité dans l'usine était de 0,14 %.

#### ***Plan de travail***

Les résidus d'uranium ont été déposés en huit tas entre 1954 et 1986. Ils sont classés comme sec à semi-secs.

Dans le cadre de la réglementation nationale et provinciale, il était nécessaire d'élaborer une stratégie en vue d'acquiescer les connaissances techniques requises pour définir la technologie de gestion des résidus de traitement de l'uranium. Il a fallu s'inscrire dans le cadre des critères du programme de gestion des déchets radioactifs. L'objectif final était d'établir et de mettre en œuvre les politiques et procédures qui permettraient la gestion de ce type de déchets dans les limites imposées par les autorités réglementaires compétentes dans le domaine radiologique et non radiologique.

Un plan de travail général a été établi sur la base d'une approche globale permettant de comprendre le problème et déterminer les travaux de recherche complémentaire requis. Ce plan comportait notamment :

- Une évaluation des incidences sur l'environnement en vue de déterminer les répercussions entraînées par le complexe.
- Des analyses de risque pour déterminer les conséquences potentielles à court et à long terme des résidus tant pour les êtres humains que pour l'environnement naturel.

Avec les résultats de cette évaluation et de ces analyses, on a étudié diverses options techniques permettant d'atteindre l'objectif du projet. Finalement, un programme fondamental et détaillé d'ingénierie a été défini en vue d'évacuer les résidus en les déplaçant à l'intérieur du site de l'installation.

### *Objectifs du concept*

Le plan a été conçu pour réaliser les objectifs suivants :

- respecter la limite de dose spécifiée par l'autorité réglementaire ;
- maintenir le rejet annuel de contaminants radioactifs et non radioactifs dans l'environnement en dessous des limites spécifiées par les autorités provinciales et fédérales ;
- respecter le principe ALARA ;
- préférer les options réduisant au minimum le contrôle institutionnel et l'entretien ;
- optimiser le recours à des barrières passives pour confiner les contaminants.

### *Exigences du concept*

On a établi que le concept de bassin de décantation était conforme à la stratégie globale de l'Argentine visant la gestion des déchets radioactifs. Ce concept est considéré comme étant la meilleure solution et la plus largement utilisée pour isoler les résidus de l'environnement.

Afin de s'assurer que les risques seront convenablement maîtrisés, les prescriptions en matière de conception relatives au système de confinement sont les suivantes :

- Contrôle du confinement et de la stabilisation à long terme des résidus.
- Contrôle de l'érosion pour réduire au minimum la contamination des eaux de surface et du sol et assurer l'intégrité à long terme du système.
- Contrôle du radon et des rayonnements afin de réduire la dose délivrée à la population.
- Contrôle des eaux de surface et souterraines afin d'empêcher la contamination par infiltration d'eau de pluie dans les résidus.

### *Conception technique*

Pour satisfaire ces prescriptions, on a mis au point la conception suivante :

#### 1) Fondations

Afin de préparer le nouveau site à recevoir les déchets, il est nécessaire d'exécuter différentes tâches telle que la décontamination du sol et la préparation des fondations afin d'homogénéiser la base et éviter un affaissement inégal. Compte tenu des caractéristiques du sol et de la quantité totale de matériaux à évacuer, les premières mesures à prendre concernant le sol de fondation consistent à enlever les 30 premiers centimètres, décaper et compacter le sol.

## 2) Barrière ouvragée

Le système de confinement proposé consiste en une barrière ouvragée de matériaux naturels disposés en couches différentes. Une fois que le sol a été compacté, il est procédé à la mise en place de la barrière inférieure du système. Cette barrière se compose de matériaux poreux, de limons sableux et d'argile.

## 3) Transport et évacuation des résidus

Les caractéristiques physiques, chimiques et mécaniques des résidus ont été étudiées. L'évaluation de ces données a permis de choisir la meilleure technologie pour retirer les matériaux du tas existant. En outre, la séquence d'extraction verticale des résidus a été choisie sur la base d'études granulométriques et d'essais pilotes effectués sur des gradins en vraie grandeur. Les résidus seront acheminés par camions vers le nouveau site, avec un contrôle de l'humidité afin d'empêcher la contamination due à la formation de poussières. Les déchets seront disposés en couches compactées. Ils seront neutralisés à la chaux afin de les stabiliser. En raison de leur hétérogénéité, ces matériaux seront mis en place en fonction de leurs caractéristiques. Ceux qui présentent une haute résistance mécanique seront placés dans la partie inférieure du système et ceux dont la résistance est moindre dans la partie supérieure.

## 4) Couverture

Les résidus seront recouverts d'une barrière multicouche naturelle destinée à réduire les émanations de radon et le rayonnement gamma, à limiter au minimum les infiltrations d'eau de pluie, à empêcher la déshydratation de la couche d'argile et à assurer une protection à long terme contre l'érosion. La barrière multicouche se compose d'une couche d'argile compactée, d'une couche de terre sablo-limoneuse et, pour finir, d'une couche de pierres.

## Conclusions

En Argentine, parallèlement à la réduction continue de l'exploitation minière de l'uranium, les activités de réaménagement et de déclassement sont en train de devenir l'élément principal du programme de la CNEA. Comme bon nombre de mines ont été mises en exploitation avant que des études d'impact sur l'environnement n'aient été exécutées, il faut maintenant élaborer des plans afin de palier à ces manques.

La nouvelle réglementation dans le domaine de la sûreté de même que la nouvelle législation en matière de protection de l'environnement en Argentine déterminent le cadre dans lequel seront prises les décisions technologiques visant les activités d'extraction et de traitement de l'uranium. Ainsi, à l'avenir, il sera possible d'éviter le réaménagement très coûteux de l'environnement auquel on procède aujourd'hui sur certains sites où pratiquement aucune précaution n'a été prise au cours des phases de planification ou d'exploitation.

## • Australie •

### **Politiques et réglementation des pouvoirs publics**

Des opérations d'extraction et de traitement du minerai d'uranium sont menées en Australie depuis les années 50. Le principal centre historique se situe dans la région du géosynclinal de Pine Creek dans le Territoire du Nord où se trouvaient les mines de Rum Jungle et de South Alligator Valley exploitées au cours des années 50 et 60, et celle de Nabarlek au cours des années 80 ; des mines ont aussi été exploitées à Radium Hill en Australie méridionale et à Mary Kathleen dans le Queensland. La mine de Radium Hill a d'abord été exploitée de façon intermittente pour le radium entre 1906 et 1931, puis pour l'uranium de 1954 à 1962. Mary Kathleen a connu deux phases d'exploitation entre 1958 et 1963 et entre 1976 et 1982. L'état de restauration de chacune de ces anciennes exploitations minières est décrit plus loin dans une section du présent document.

À l'heure actuelle, on extrait de l'uranium à Ranger dans le Territoire du Nord (mine à ciel ouvert, uranium seulement) et à Olympic Dam en Australie méridionale (mine souterraine, minerais de cuivre, d'or et d'uranium). À Beverley en Australie méridionale, une exploitation par lixiviation *in situ* a été approuvée et fait actuellement l'objet de travaux d'aménagement, la mise en service étant escomptée au milieu de l'an 2000. Dans le Territoire du Nord, les travaux d'accès et de traçage ont débuté à la mine souterraine de Jabiluka, mais leur achèvement dépend des négociations avec les propriétaires aborigènes. Le traitement du minerai d'uranium en Australie s'effectue en général à proximité de la mine dans une usine spécialisée. Toutefois, le minerai provenant de nombreuses petites mines dans la zone de South Alligator Valley a été traité dans une petite usine au centre de la zone. Du minerai a aussi été transporté par camions jusqu'à Moline pour être traité dans une usine de traitement de métaux communs modifiée. Les concentrés provenant de Radium Hill ont été expédiés par chemin de fer à 280 km, à Port Pirie, pour traitement.

### ***Législation du Commonwealth d'Australie***

Sur le territoire de l'Australie, l'exploitation minière de l'uranium et la restauration des installations connexes de traitement sont régies par la législation en vigueur tant au niveau fédéral (Commonwealth d'Australie) qu'à celui des États. La Loi de 1953 sur l'énergie atomique [*Atomic Energy Act 1953*], stipule que l'État fédéral conserve les droits de propriété sur l'uranium des territoires australiens et instaure le mécanisme par lequel l'exploitation de la mine de Ranger dans le Territoire du Nord est autorisée. Les exportations d'uranium sont contrôlées en vertu du Règlement douanier (exportations interdites) [*Customs (Prohibited Exports) Regulations*] pris en application de la Loi de 1901 sur les douanes [*Customs Act 1901*]. Le règlement interdit l'exportation d'uranium et d'autres matériaux sources, tels les minéraux contenant du thorium comme la monazite, sans autorisation du Ministère des ressources et de l'énergie. Il n'existe cependant pas de législation fédérale spécifique traitant de la restauration des sites miniers, car c'est habituellement l'affaire du gouvernement de l'État ou du Territoire concerné, qui assume la responsabilité courante de la réglementation de toutes les opérations d'exploitation minière. Il convient de noter qu'à l'intérieur de l'Australie, il n'y a guère d'uniformité dans le détail de la législation des divers États et territoires visant la question de la restauration des sites miniers, encore que les principes et objectifs généraux soient semblables.

La Loi de 1999 sur la protection de l'environnement et la préservation de la biodiversité [*Environment Protection and Biodiversity Conservation Act 1999*] récemment promulguée par l'État fédéral fait figurer le déclassement ou la restauration des installations d'extraction et de traitement du minerai d'uranium parmi les « activités nucléaires ». Il faut obtenir l'approbation du Ministre fédéral de l'environnement et du patrimoine [*Federal Minister of the Environment and Heritage*] avant de pouvoir engager de telles activités. Cette approbation peut nécessiter une évaluation par le biais d'une procédure d'évaluation des incidences sur l'environnement.

Bien qu'il n'existe pas au niveau du Gouvernement fédéral, de législation spécifique visant le contrôle courant de l'extraction du minerai d'uranium, la Loi de 1978 sur la protection de l'environnement (codes nucléaires) [*Environment Protection (Nuclear Codes) Act 1978*] stipule que l'État fédéral établit, en consultation avec les États et les Territoires, des codes de pratique relatifs aux activités nucléaires (notamment l'extraction et le traitement du minerai d'uranium). Trois codes de pratique nationaux ont été élaborés en vertu de la Loi susmentionnée :

- Le Code de pratique visant la sûreté du transport de substances radioactives (1990) (code de transport).
- Le Code de pratique relatif à la radioprotection dans le domaine de l'extraction et du traitement des minerais radioactifs (1987) (code de santé).
- Le Code de pratique relatif à la gestion des déchets radioactifs provenant de l'extraction et du traitement des minerais radioactifs (1982) (code des déchets).

Ces codes sont périodiquement révisés et mis à jour. Chacun comporte, dans les éditions en vigueur, un ensemble connexe de lignes directrices. Alors que les codes de santé et de transport sont en cours d'actualisation et il n'est pas proposé, pour le moment, de mettre à jour le code le plus pertinent en l'occurrence, à savoir le code des déchets.

Les lignes directrices actuelles du code des déchets énoncent les objectifs généraux assignés à la restauration des sites où ont eu lieu des activités d'extraction et de traitement de minerais radioactifs, principalement d'uranium. Le code révisé traitera de la gestion des déchets radioactifs issus de l'extraction et du traitement de tout minéral, y compris l'uranium. Les principes généraux des prescriptions en matière de restauration sont formulés sous forme générique dans le code des déchets. L'objectif primordial du code des déchets est « *d'assurer, tant à court qu'à long terme, la protection de la population et de l'environnement contre les effets nocifs imputables aux contaminants radioactifs des déchets* ».

Les notes liminaires précisent en outre que le code s'applique à tous les stades de l'extraction et du traitement du minerai, y compris le déclassement et la restauration.

L'application et le contrôle du respect de ces codes relèvent de la compétence des États et Territoires et, bien qu'ils n'aient été adoptés officiellement par aucun État ni Territoire, ils sont fréquemment cités en référence dans la législation pertinente. Il n'existe pas de normes nationales applicables à la gestion des déchets radioactifs provenant de l'exploitation minière, mais la démarche adoptée par les divers États est dans l'ensemble semblable. L'introduction des codes a jusqu'à présent donné satisfaction dans la mesure où ils sont évoqués par la législation, et les normes contenues dans les codes peuvent être mises en vigueur par la réglementation des États.



## *Législation au niveau de l'État ou du Territoire*

On trouvera dans les sections ci-après une description de la législation en vigueur en matière de restauration des installations de production d'uranium dans les États et les Territoires où des activités d'extraction du minerai d'uranium sont actuellement menées ou projetées.

### *Prescriptions en matière de restauration des sites des mines d'uranium dans le Territoire du Nord*

Le Territoire du Nord n'est pas un État mais un territoire autonome dans lequel l'État fédéral a conservé certains pouvoirs, notamment la propriété de l'uranium et l'exploitation des mines d'uranium. La position particulière du Gouvernement fédéral dans le Territoire du Nord se reflète dans les dispositions de la Loi de 1978 sur la protection de l'environnement (Région d'Alligator Rivers) [*Environment Protection (Alligator Rivers Region) Act 1978*]. Le Bureau fédéral de l'Expert à l'environnement [*Commonwealth Office of the Supervising Scientist*] a été établi aux termes de cette Loi avec pour mission expresse de superviser tous les aspects environnementaux de l'exploitation des mines d'uranium dans la région d'Alligator Rivers. En particulier, l'Expert à l'environnement rend compte au Ministre de l'environnement du Commonwealth et le conseille sur les impacts environnementaux de l'exploitation minière de l'uranium dans la région. Il est de sa responsabilité de s'assurer que les opérations d'exploitation sont menées en conformité avec les Prescriptions fédérales en matière d'environnement. L'État fédéral est particulièrement concerné car les mines de cette région se trouvent sur des terres aborigènes et que les trois gisements d'uranium répertoriés (Ranger, Jabiluka et Koongarra) sont entourés par le Parc national de Kakadu inscrit sur la liste du Patrimoine mondial, qui est administré par le Gouvernement fédéral en association avec les propriétaires aborigènes.

Le Département des mines et de l'énergie du Territoire du Nord [*Northern Territory Department of Mines and Energy – NTDME*] est chargé de réglementer de façon courante l'exploitation des mines d'uranium. La plupart des questions générales d'exploitation minière sont régies par la loi minière du Territoire du Nord de 1980 et la loi sur la gestion des mines de 1990, qui définissent un système d'autorisations et de concessions pour l'exploration et l'exploitation de minéraux, y compris l'uranium. La demande d'autorisation doit inclure un projet de réaménagement de la zone affectée par les activités envisagées. Les concessions minières et les autorisations de prospection peuvent être assorties de conditions qui font état de la restauration du terrain perturbé. En outre, dans le Territoire du Nord, il existe une législation spécifique relative à la protection de l'environnement en rapport avec l'exploitation des mines d'uranium. La Loi de 1979 sur l'extraction du minerai d'uranium (protection de l'environnement) [*Uranium Mining (Environment Control) Act 1979 – UMEC*] énonce les conditions spécifiques applicables à l'exploitation des mines d'uranium ; elle comporte notamment une disposition habilitant le Ministre compétent (actuellement le Ministre chargé de la mise en valeur des ressources) à exiger que toute mine ou zone perturbée par des activités minières soit restaurée, y compris par remise en végétation. Les conditions spécifiques en vue de la gestion écologique des sites miniers à Ranger et Nabarlek (comprenant la restauration) sont établies dans les Prescriptions en matière d'environnement du Gouvernement fédéral, qui sont reprises sous forme d'Annexes à l'UMEC. Ces prescriptions comportent des clauses spécifiques visant la restauration et exigent un certificat de remise en végétation qui n'est délivré qu'après que l'autorité de tutelle s'est assurée que toutes les conditions des Prescriptions en matière d'environnement ont été remplies. Les finalités et objectifs propres aux sites, assignés à la restauration de ces derniers, ont été fixés d'un commun accord après négociations entre les sociétés minières, les représentants des propriétaires aborigènes, le Gouvernement fédéral et le Gouvernement du Territoire du Nord.

Lorsqu'une société exploitant des mines d'uranium dans la région souhaite modifier un aspect important de l'exploitation, elle est tenue de demander au NTDME la permission de mettre en œuvre

la proposition. Une copie de la demande est adressée à l'Expert à l'environnement. Le Ministre chargé du Territoire du Nord, par l'entremise du NTDME, est tenu de prendre l'avis de l'Expert à l'environnement avant de prendre la décision finale. Toutefois, le Ministre n'est pas tenu de donner suite à tout avis émis par l'Expert à l'environnement. Ce processus d'approbation s'applique aussi à la restauration des installations d'extraction et de traitement du minerai d'uranium de la Région. Dans tous les cas, le Conseil des Terres du Nord [*Northern Land Council*] représentant les propriétaires aborigènes des terrains, est également consulté.

Les arrangements administratifs détaillés s'appliquant à la restauration des mines d'uranium de la région d'Alligator Rivers sont décrits dans une section ultérieure du présent document. Si d'autres mines d'uranium devaient être développées dans le Territoire du Nord, mais en dehors de la région d'Alligator Rivers, l'Expert à l'environnement n'aurait pas à intervenir aux termes des dispositions en vigueur.

### *Prescriptions visant la restauration des sites de mines d'uranium en Australie méridionale*

La doctrine du Gouvernement en Australie méridionale est que tous les sites affectés par l'exploitation minière ou la minéralurgie, notamment ceux ayant trait à la production d'uranium, doivent être restaurés. Un certain nombre de textes législatifs mettent en œuvre cette doctrine, comme cela est décrit ci-après. En outre le Gouvernement mène une politique de restauration des sites des anciennes mines d'uranium abandonnées et a fait exécuter des travaux à Radium Hill (stabilisation des résidus miniers) et à Port Pirie (recouvrement des résidus de traitement de l'uranium). Ces projets sont décrits dans une section ultérieure du présent document.

Les prescriptions d'ensemble visant la restauration des sites miniers (et la protection de l'environnement dans le cadre de l'exploitation minière en général) sont administrées par le Département des industries primaires et des ressources d'Australie méridionale [*South Australian Department of Primary Industries and Resources*] en vertu de la Loi minière de 1971 [*Mining Act 1971*] et de la Loi de 1921 sur l'inspection des mines et des chantiers [*Mines and Works Inspection Act 1921*]. Ces prescriptions n'établissent pas de distinction entre l'exploitation des mines d'uranium et d'autres types d'exploitation minière ; autrement dit, il n'existe pas de prescriptions spécifiques visant la restauration des sites d'extraction et de traitement du minerai d'uranium aux termes de cette Loi.

En vertu de la Loi minière, lorsqu'une concession minière est accordée, elle peut être assujettie à des conditions en vue de sauvegarder l'environnement. Il peut s'agir de conditions découlant de l'évaluation du projet du point de vue de l'environnement, qui sont conçues en vue de garantir que la restauration pourra effectivement être réalisée. Avant la mise en exploitation, un programme d'extraction et de restauration doit être élaboré et approuvé par le Département. Ce programme doit inclure une description des chantiers proposés et des déchets engendrés qui exigeront une remise en état, ainsi que des mesures proposées et du calendrier de restauration. La non-exécution des mesures de restauration prescrites peut donner lieu à des sanctions, notamment au retrait de la concession minière. Il existe des dispositions prévoyant le dépôt de fonds en garantie du bon achèvement des mesures de restauration.

L'autre législation majeure applicable à l'exploitation des mines d'uranium est la Loi de 1982 sur la radioprotection et le contrôle des rayonnements [*Radiation Protection and Control Act 1982*]. Cette Loi stipule qu'il faut obtenir une autorisation pour extraire ou traiter du minerai d'uranium. Des exigences peuvent être imposées à l'exploitation sous la forme de conditions auxquelles l'autorisation

est assujettie. La principale condition, en ce qui concerne la restauration, est la conformité au « Code (fédéral) de pratique relatif à la gestion des déchets radioactifs provenant de l'extraction et du traitement des minerais radioactifs de 1982 » (code des déchets) qui s'applique habituellement à toutes les exploitations. Ce Code exige qu'un plan de gestion des déchets, qui inclut des plans de restauration, soit établi, soumis pour approbation et mis en œuvre. La non-restauration constituerait un manquement à une condition de l'autorisation et une infraction passible de sanction.

La seule mine d'uranium actuellement en exploitation commerciale dans l'État est le projet d'Olympic Dam, qui fait l'objet d'un contrat entre l'État et l'exploitant, aux termes de la Loi de 1982 relative à Roxby Downs (ratification de contrat) [*Roxby Downs (Indenture Ratification) Act 1982*] (dite le Contrat). Le Contrat comporte une clause stipulant que l'exploitant se conforme au code des déchets, au code de transport et au code de santé de l'État fédéral, et une autre stipulant qu'un « programme de protection, de gestion et (s'il y a lieu, de l'avis de l'autorité de tutelle) de restauration de l'environnement... » doit être élaboré, approuvé et appliqué. Si le Contrat est résilié et le projet fermé, la restauration doit alors être exécutée. Le non-respect de ces prescriptions constituerait un manquement à l'accord représenté par le Contrat et de tels manquements sont réglés par voie de procédures et donnent lieu notamment au recouvrement des frais. Avant l'établissement du projet, une déclaration d'impacts sur l'environnement a été approuvée (en 1983) conformément à la législation fédérale. Celle-ci a été déclenchée par les incidences possibles sur l'environnement des actions de l'État fédéral liées à l'octroi des autorisations d'exportation relatives à l'uranium (en effet, la délivrance de telles autorisations est de nature à faciliter la mise en valeur de la mine). Plus récemment, une procédure d'évaluation conjointe de la déclaration d'impacts sur l'environnement par l'État fédéral et l'Australie méridionale a été menée à terme en 1997 en liaison avec l'agrandissement notable du projet qui a été réalisé au premier semestre de 1999.

Aucune des prescriptions législatives susmentionnées ne comporte des exigences techniques spécifiques visant la restauration sous forme, par exemple, d'épaisseur de couche de terre végétale recouvrant les bassins de retenue des résidus ou de limites de contamination du sol. Bien que la Loi de 1982 sur la radioprotection et le contrôle des rayonnements impose une limite de dose d'irradiation annuelle pour les personnes du public, les mesures qui doivent être prises pour l'atteindre ne sont pas spécifiées, mais doivent être proposées par l'exploitant et approuvées par l'autorité réglementaire. De même, les modalités visant la restauration « non radiologique », par exemple la remise en végétation du site perturbé, ne sont pas précisées, mais doivent être mises en œuvre par l'exploitant compte tenu des conditions propres au site et à l'exploitation.

Le projet de lixiviation *in situ* de l'uranium à Beverley, première mine à utiliser cette méthode d'exploitation minière en Australie, a aussi fait l'objet d'une procédure active d'évaluation de la déclaration d'impacts sur l'environnement menée conjointement par le Gouvernement fédéral et par celui de l'État d'Australie méridionale. La restauration du site a pour objectif primordial de rétablir l'écosystème végétal après l'enlèvement de toute l'infrastructure. Là où c'est possible, la restauration sera progressive pendant toute la durée de vie du projet. Les sites des têtes de puits seront remis en état, les forages étant isolés à au moins 500 mm en dessous du niveau du sol et obturés du fond jusqu'à la proximité de la surface avec insertion de marqueurs localisables ; et tous les résidus de traitement ou évaporites provenant de l'installation et des bassins d'évacuation seront enfouis en un lieu approuvé sur le site. Les effluents liquides seront injectés dans la partie septentrionale de l'aquifère de Beverley qui est bien isolée des eaux souterraines environnantes. Cet aquifère ne se prête pas à un usage domestique ou animal en raison de sa salinité élevée et du fait qu'il est déjà fortement contaminé par des radionucléides. L'usine et les installations seront soit démolies et les déblais évacués dans des dépôts agréés, soit décontaminées et vendues. Alors que le plan approuvé de la société minière exige que toutes les installations soient enlevées, certaines infrastructure, par exemple des puits d'eau

potable et certaines routes, etc. pourront être remis aux propriétaires aborigènes locaux conjointement avec le Centre du patrimoine aborigène [*Aboriginal Heritage Centre*]. Les détails définitifs seront réglés en consultation avec les autorités réglementaires et les parties prenantes directement concernées.

### *Cadre législatif applicable à la restauration des mines d'uranium en Australie occidentale*

Il existe un certain nombre de gisements d'uranium en Australie occidentale, mais aucun d'eux n'a encore été exploité sur une base commerciale. Il existe néanmoins divers mécanismes législatifs dans cet État qui sont applicables à la conception, à l'exploitation et au déclassement, y compris la restauration, des mines d'uranium. Aux termes de la législation en vigueur, un projet potentiel doit intégrer, dans les paramètres initiaux de conception relatifs à toute nouvelle mine d'uranium, la notion et la faisabilité d'un déclassement et d'une restauration de cette mine. La durée de vie entière du projet potentiel est donc évaluée au moment du lancement de la proposition.

On trouvera ci-après la liste des organismes qui, au sein du Gouvernement de l'État d'Australie méridionale, exercent des compétences en matière de restauration des installations de production d'uranium, ainsi que des principaux textes législatifs applicables en l'occurrence. Ces organismes travaillent en général en partenariat en évitant autant que possibles les chevauchements de prérogatives.

- Département des ressources minérales et de l'énergie :  
Loi minière de 1978 [*Mining Act 1978*] et Règlement minier de 1981 [*Mining Regulations 1981*].  
Loi de 1994 sur la sécurité et l'inspection des mines [*Mines Safety and Inspection Act 1994*] et Règlement de 1995 sur la sécurité et l'inspection des mines [*Mines Safety and Inspection Regulations 1995*].
- Conseil radiologique :  
Loi de 1975 sur la sûreté radiologique [*Radiation Safety Act 1975*] et Règlement de 1983 sur la sûreté radiologique (Généralités) [*Radiation Safety (General) Regulations 1983*].
- Département de la protection de l'environnement :  
Loi de 1986 sur la protection de l'environnement [*Environmental Protection Act 1986*].

Il existe en outre quelques autres textes législatifs qui pourraient être applicables, selon les caractéristiques du projet. Par exemple, dans le cas d'une mine faisant appel à des techniques de lixiviation *in situ*, des aspects particuliers de la Loi de 1914 sur les droits en matière d'eau et d'irrigation [*Rights in Water and Irrigation Act 1914*] pourraient être applicables. Dans le cas de ce type de corps minéralisé, toute restauration devrait tenir compte de cette législation de même que des autres. L'État d'Australie méridionale promulguerait aussi, s'il y a lieu, des Accords pour des projets spécifiques. Ces Accords peuvent comporter des dispositions spécifiques concernant ces projets.

Les prescriptions spécifiques applicables à la restauration d'une mine d'uranium seraient couvertes par la Loi minière de 1978 et le Règlement connexe ainsi que par la Loi de 1994 sur la sécurité et l'inspection des mines et le Règlement connexe. Les dispositions législatives régissant les aspects radioactifs de la restauration de la mine sont contenues dans le Règlement de 1995 sur la sécurité et l'inspection des mines. Ce règlement comporte une disposition particulière relative à la gestion à long terme des déchets radioactifs et aux rejets radioactifs à partir d'un site minier, de même qu'une disposition visant à révoquer le propriétaire/exploitant principal d'une mine si la restauration est inacceptable ou susceptible de le devenir, après qu'un certain temps s'est écoulé.

Le principal outil de gestion visant la restauration du point de vue de la radioactivité, qui est prévu dans le Règlement sur la sécurité et l'inspection des mines, est l'exigence d'un plan de gestion des déchets relatif à la mine, qui doit être inclus dans le Plan de gestion radiologique relatif à cette mine. Ce plan de gestion des déchets doit comporter, parmi d'autres exigences, les grandes lignes de la proposition concernant le déclassement et la restauration finale de la mine. Le système de gestion des déchets utilisé dans une mine est aussi tenu de recourir aux meilleures solutions techniques applicables dans la pratique, et est conçu pour réduire au minimum le rejet de radioactivité. Le respect des exigences du plan de gestion des déchets déterminera l'efficacité de la restauration d'une mine.

Le Règlement minier comprend des prescriptions visant le versement d'une caution couvrant la restauration de l'environnement et ces prescriptions sont applicables à toutes les mines d'Australie méridionale. La Loi de 1986 sur la protection de l'environnement, administrée par le Département de la protection de l'environnement [*Department of Environment Protection – DEP*] pourrait aussi s'appliquer dans des situations où la Loi minière de 1978 n'est pas entièrement applicable. En vertu de la Loi sur la protection de l'environnement, une approbation du chantier et une autorisation d'exploitation seront délivrées s'il y a un rejet d'effluents ou d'eau à partir d'une installation, ou s'il existe un système d'évacuation des déchets sur le site, par exemple un bassin de retenue des résidus. Dès lors que l'installation est déclassée, l'intervention du DEP se limite à la durée de validité de l'autorisation ; la mise en œuvre, la surveillance à long terme et la gestion de la restauration sont couvertes par la réglementation prise par le Département des ressources minérales et de l'énergie. Si l'aménagement primitif a fait l'objet d'une procédure d'évaluation des incidences sur l'environnement aux termes de la réglementation prise par le DEP, le Ministre peut fixer des conditions de restauration dans l'approbation de l'évaluation des incidences sur l'environnement qui peuvent être mises à exécution par le DEP. Si une installation après déclassement est une source de pollution, il est alors possible d'utiliser la Loi sur la protection de l'environnement pour rechercher la partie responsable et exiger d'elle qu'elle fasse cesser la pollution et répare tout dommage, de même qu'elle apporte une solution de gestion à long terme.

Il existe aussi une législation relative aux sites contaminés, actuellement à l'état de projet et dont certains éléments peuvent devenir applicables aux sites de mines d'uranium en Australie méridionale si ces derniers sont mis en valeur.

## **Informations sur les activités de restauration menées en Australie**

### *Activités de restauration passées*

Dans les premiers temps du traitement de l'uranium, au début des années 50, les résidus n'étaient pas considérés comme des déchets posant des problèmes particuliers. En Australie, par exemple, à l'usine de *South Alligator* dans le Territoire du Nord, les résidus ont été déposés sur une zone plane immédiatement en contrebas de l'usine qui, elle-même se trouvait au voisinage immédiat de la *South Alligator River*. On n'a pas vraiment cherché à retenir ces résidus et des observateurs de l'époque relèvent que les résidus sont souvent entraînés dans la rivière par suite d'inondations pendant la saison humide. Les résidus ont été déplacés par camions à quelque 37 km à Moline en 1986, où ils sont retraités afin d'extraire l'or qu'ils renferment. Les résidus ont ensuite été incorporés dans une retenue de déchets réaménagée, construite sous la supervision du NTDME.

Les mines n'ont pas été restaurées, mais abandonnées en conformité avec le régime réglementaire des années 60. Il n'a guère été pris d'autres mesures jusqu'au début des années 90, lorsque le Gouvernement fédéral a financé un programme des travaux de réduction des risques. Celui-ci avait pour objectif de sécuriser les sites en ce qui concerne les risques physiques et radiologiques auxquels

étaient exposés les visiteurs du parc. Les travaux ont consisté à collecter et enfouir les restes d'infrastructures contaminées et de résidus de fabrication, notamment de petites quantités de résidus miniers. Les exploitations à ciel ouvert ont été clôturées et les galeries à flanc de coteau et tunnels ont été effondrés partout où cela a été possible. Le Bureau de l'Expert à l'environnement a été chargé du contrôle radiologique du programme de travaux et du programme de surveillance ultérieure de l'intégrité du confinement du point de vue de la stabilité tant radiologique que vis-à-vis de l'érosion. On trouvera dans une section ultérieure du présent document des détails sur les travaux entrepris.

À *Moline*, les résidus proviennent d'un ensemble d'exploitations minières de métaux communs et d'or à proximité de Moline et des mines d'uranium de la zone de South Alligator située à environ 37 km à l'est. En outre, approximativement 6 000 tonnes de résidus d'uranium acheminées à partir de l'usine de South Alligator ont été retraitées pour en extraire de l'or en 1987. Environ 246 000 tonnes de résidus avaient été accumulées sur le site de Moline vers 1972, comprenant une faible proportion de résidus de traitement de l'uranium. Ces résidus ont été déposés sans avoir été neutralisés derrière des digues de protection contiguës à la zone de l'usine. Par suite de l'érosion qui a ultérieurement affecté le site, des résidus ont été entraînés dans le réseau local de ruisseaux et de rivières de sorte qu'il n'en restait plus que 174 000 tonnes en 1983. La radioactivité des résidus était comprise entre  $6 \text{ Bq m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  et  $2 \text{ Bq m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . Ces différences étaient fonction des teneurs différentes des minerais et des flux de traitement minéralurgique. Plus tard, au cours de la période 1991/92, des entrepreneurs sous la supervision du NTDME ont recouvert le dépôt de résidus d'une couche de pierres et d'humus afin de le protéger de l'érosion.

Dans le cas du site de *Rum Jungle*, qui a été exploité de 1954 à 1971, il s'agit d'un site d'extraction de minerais d'uranium, de cuivre, de nickel et de plomb. À la fin de l'exploitation, la société minière, qui avait été autorisée à extraire du minerai d'uranium pour le compte de l'État fédéral, n'avait aucune obligation de restaurer le site. Les résidus ont été déposés sans avoir été neutralisés dans une série de petits bassins de retenue situés derrière un endiguement. La quantité totale des résidus déposés s'élevait à 600 000 tonnes réparties sur une superficie d'environ 31 ha. On a laissé le liquide surnageant, qui contenait aussi certains résidus en suspension, s'évacuer dans un déversoir d'où il s'est écoulé dans la Finnis River. Il y a aussi eu une certaine dispersion éolienne des résidus à partir des surfaces asséchées en arrière de l'endiguement. De temps à autre, il y a eu des brèches dans l'endiguement, ce qui a abouti au rejet de volumes considérables de résidus dans le réseau hydrographique.

De 1977 à 1978, un programme d'« assainissement » a été organisé dans le but de restaurer le site à l'état de brousse naturelle, mais les travaux n'ont guère contribué à atténuer les incidences des déversements à partir du site dans la Finnis River. Les incidences sur le cours d'eau ont été graves, ce dernier ayant été déclaré « mort » sur 8,5 km en aval du site de la mine jusqu'à un confluent important et gravement touché sur 15 km supplémentaires en aval de ce point. Par suite des préoccupations croissantes exprimées par le public, l'État fédéral a annoncé en 1980 que les fonds nécessaires à un programme de restauration seraient débloqués. Ce programme, administré par le Gouvernement du Territoire du Nord, s'est déroulé de 1982 à 1986. Dans le programme de restauration, les résidus et les matériaux contaminés du sol sous-jacent ont été placés dans la mine à ciel ouvert de Dysons. Cette dernière a été recouverte d'une couche de pierres d'un mètre d'épaisseur, puis en alternance de couches du sous-sol contaminé et de déblais de lixiviation en tas du cuivre, provenant du site du remblai de lixiviation du cuivre. L'excavation a ensuite été scellée et remise en végétation. Le site du bassin de retenue des résidus a été recouvert d'une couche arable, un drainage superficiel a été mis en place et le couvert végétal a été rétabli sur l'ensemble de la zone. Les haldes de morts-terrains ont été remodelées et scellées à l'aide de couvertures d'argile et recouvertes de couches de protection contre l'érosion afin d'empêcher le développement de conditions favorables à l'apparition d'eaux d'exhaure de roches acides.

Le minerai et les roches stériles à Rum Jungle contenaient des sulfures en quantités telles que leur hydrolyse et oxydation sous l'effet des intempéries ont produit suffisamment d'acide sulfurique pour permettre la lixiviation des métaux, en particulier du cuivre et de substances faiblement radioactives à partir des stériles et des résidus. Le métal prédominant était le cuivre qui est une matière très toxique. Les résidus de l'exploitation de l'uranium ont aussi contribué à cette contamination, mais on estime qu'ils n'ont représenté que 5 % de la charge en cuivre qui a été particulièrement destructrice pour l'écosystème aquatique de la Finnis River. Il a également été suggéré que les résidus d'acide sulfurique présents dans les résidus miniers d'uranium ont contribué à la contamination du cours d'eau.

Après l'achèvement des travaux de restauration, on a mis en place un programme exhaustif de surveillance de l'environnement, dont la réalisation a été confiée aux organismes du Territoire du Nord en charge de la lutte contre l'érosion et de la préservation de la qualité de l'eau. Ce programme se poursuit jusqu'à présent, parallèlement à des programmes de recherche menés par un organisme fédéral, l'Organisation australienne pour la science et la technologie nucléaires [*Australian Nuclear Science and Technology Organization – ANSTO*]. Ce site a exigé d'importantes activités de maintenance et de gestion pendant les premiers stades faisant suite à la restauration. Cela a principalement été imputable au choix de graminées allogènes et aux craintes que les racines des arbres ne traversent les couches de couverture en argile. La maintenance a été allégée et on laisse grandir les arbres librement, car les craintes initiales sont maintenant considérées comme non fondées.

Les observations recueillies à partir du programme de surveillance montrent que la restauration de la Finnis River a donné des résultats, la vie aquatique revenant dans les biefs en aval du site. Les résultats du programme de surveillance des eaux souterraines indiquent qu'il faudra encore de l'ordre d'une quinzaine d'années pour qu'intervienne une baisse notable des concentrations de contaminants dans les eaux issues des terrils de déchets. La surveillance se poursuit jusqu'à présent, aucune date précise n'étant fixée pour la fin de ce programme.

Rum Jungle Creek South était une mine à ciel ouvert située à environ 3 km de la mine principale de Rum Jungle. Cette mine a été exploitée entre 1961 et 1963 et approximativement 665 000 tonnes de minerai ont été extraites en vue d'être traitées sur le site principal. On a permis le noyage de l'excavation après la cessation de l'exploitation minière et l'emplacement est devenu une aire populaire de picnic et de loisirs. Une évaluation du risque radiologique pour les personnes du public a été entreprise par le NTDME en ce qui concerne un certain nombre de sites de mines d'uranium abandonnées dans le Territoire du Nord, notamment celui de Rum Jungle Creek South. Une proposition de restauration a été élaborée et soumise au Gouvernement fédéral pour financement. Un budget d'environ 2 millions de dollars australiens (AUD) a été alloué en vue de ces travaux qui ont été exécutés par des entrepreneurs locaux sous la supervision du NTDME entre octobre 1990 et janvier 1991. Les travaux avaient pour objectif principal de réduire la dose de rayonnement pour le public à moins de 1 mSv par an. Après le remodelage de la décharge de stériles et d'enlèvement des couches de sol superficiel contaminées, le relief final a été recouvert de matériaux constitutifs du sol appropriés provenant de zones locales. La fonction loisirs du site a été conservée grâce à l'utilisation de l'excavation remplie d'eau en tant que lac et à la création d'un terrain de sports par nivellement d'une partie du site. Des programmes appropriés de gestion et de surveillance du site ont été mis en place et l'aire de loisirs a été ouverte au public à la fin janvier 1991. Un certain nombre d'autres sites liés à l'uranium, de petites mines et des haldes de minerai, se trouvant dans le Territoire du Nord ont aussi été restaurés entre 1990 et 1992 au titre du même programme moyennant un budget total de 4 millions de dollars australiens.

L'extraction du minerai d'uranium à *Radium Hill* a débuté en 1954, sur un site se trouvant à environ 120 km au sud-ouest de Broken Hill. Le minerai a été concentré par flottation et expédié par

chemin de fer à 280 km au sud-ouest, à Port Pirie sur le Golfe Spencer, où le concentré uranifère a été produit par un procédé de lixiviation par voie acide et échange d'ions. L'exploitation a cessé en 1962. Il y avait deux bassins de retenue des résidus sur le site de la mine, couvrant une superficie d'environ 40 ha. Vers 1981, l'une des haldes avait subi une érosion considérable, s'accompagnant d'un important ravinement et les résidus ont été dispersés par le vent sur une aire étendue. Une deuxième halde avait partiellement été recouverte de stériles avant l'abandon du site et se trouvait en bien meilleur état. Les préoccupations suscitées par la dispersion de poussières radioactives à partir de la halde ont conduit au lancement en 1981 d'un programme de restauration. Les résidus ont été recouverts en surface d'une couche d'argile compactée d'un mètre d'épaisseur et les structures des anciens bassins de retenue ont été entourées de murs d'argile compactée de 9 mètres d'épaisseur à la base n'atteignant plus que 3 mètres au sommet. Il n'a pas été effectué d'enrochement des structures, car cela a été considéré comme étant trop coûteux. À l'époque où la construction a été achevée, une période de maintenance de vingt ans avait été jugée nécessaire. La surveillance du site par l'autorité de tutelle se poursuit à l'heure actuelle et il n'a pas été nécessaire jusqu'à présent de procéder à d'importants travaux de maintenance. Les émissions à partir du site sont données par les autorités de tutelle comme se situant en dessous de tout niveau d'intervention possible.

Les autres résidus de traitement, à *Port Pirie*, ont aussi été une cause de préoccupations en raison de l'empoussièrément et de la venue fréquente de personnes du public sur le site. On a renoncé à déplacer ces matériaux à Radium Hill pour des raisons de coût, de même qu'on a écarté la possibilité d'importer des matériaux de remblayage appropriés pour construire une couverture *in situ*. Cependant, une fonderie de zinc locale à Port Pirie a proposé de fournir à titre gratuit du laitier provenant de la fonderie en échange des droits de décharger des matériaux sur le terrain occupé par les résidus de traitement. Le laitier a été déposé sur le déblai de manière à le recouvrir d'une épaisseur finale de 1,5 m, ce qui a empêché la formation de poussière et a ramené les niveaux d'émanation de radon en dessous de la limite recommandée par l'Agence pour la protection de l'environnement [*Environmental Protection Agency*] des États-Unis pour les déblais de résidus d'uranium après restauration.

Un autre complexe d'installations d'extraction et de traitement du minerai d'uranium restauré en Australie est le site de *Mary Kathleen* à environ 60 km à l'est du Mont Isa dans le Queensland. Du minerai a été extrait de ces installations de 1958 à 1963 et, à nouveau de 1976 à 1982. Contrairement aux autres mines d'uranium d'Australie décrites plus haut dans cette section, celle de *Mary Kathleen* a été restaurée à une époque où le public était davantage sensibilisé aux questions d'environnement et où la nécessité d'une restauration appropriée était considérée comme revêtant la plus haute importance. La restauration en l'occurrence a porté non seulement sur la mine, le bassin de retenue des résidus, les bassins d'évaporation et l'usine de traitement, mais aussi sur l'agglomération minière. L'objectif global du plan était de laisser le site dans un état sûr et stable, compatible avec l'utilisation future proposée des terrains, à savoir le pacage, et sans aucune restriction à l'accès du public qui soit liée aux niveaux de rayonnement.

Dans le cadre du plan global de restauration, la zone occupée par les résidus est devenue le dépôt de tous les déchets et effluents liquides contaminés. Il y avait environ 7 millions de tonnes de résidus couvrant une superficie d'approximativement 28 ha. Les surfaces occupées par les résidus ont été remodelées de manière à obtenir une pente de 0,5 % en direction des drains périphériques, et au départ il était prévu de recouvrir cette surface d'une couche de stériles d'un mètre d'épaisseur afin d'assurer une protection contre l'érosion et les rayonnements et de réduire les émanations de radon. Cette procédure a été exécutée sur environ 60 % du bassin de retenue des résidus. À ce stade des travaux, on a établi qu'en utilisant une couche d'argile et de terre de 500 mm, il serait possible de parvenir à une meilleure maîtrise du radon. En conséquence, les stériles ont été retirées et remplacées par une couche d'argile et de terre compactée de 500 mm provenant de la partie non contaminée de la paroi du bassin



d'évaporation ; la couche de stériles d'un mètre d'épaisseur a ensuite été remise en place. Les 40 % restants de la zone ont été recouverts d'une couche de 500 mm d'argile, de terre et d'évaporites contaminées provenant du fond des bassins d'évaporation, puis d'une couche de 500 mm de terre et d'argile non contaminée et enfin d'un mètre de stériles.

Les radionucléides et les sels ont été précipités à partir du liquide résiduel à l'aide de chaux. Après une période de séchage, la zone a été recouverte de 500 mm de terre et d'argile et d'un mètre de stériles.

Pendant la production, les résidus grossiers avaient été déposés du côté aval de la paroi du principal bassin de retenue de résidus. Au cours de la restauration, ceux-ci ont été nivelés et recouverts d'une couche de stériles. La surface présentait une couverture minimale de 2 mètres, la couverture rocheuse sur la partie plane avait 1 mètre d'épaisseur, et a été modelée de manière à obtenir une pente de 0,55 % pour le ruissellement direct. Une dernière couche de gros blocs de garnetite a été placée au-dessus des stériles, en tant que protection supplémentaire contre l'érosion. À la fin des travaux, une zone de filtrage destinée à piéger les particules fines entraînées par le ruissellement à partir des résidus a été construite au-delà de l'empatement du mur ; cette zone a été recouverte d'une couche de 2 mètres de stériles compactés surmontée de gros blocs rocheux.

### ***Activités de restauration en cours***

Sur le site de la mine de *Nabarlek*, le corps minéralisé a été exploité jusqu'à épuisement en 143 jours au cours de la saison sèche de 1979. Le minerai a été entreposé dans une structure en béton sur un socle d'argile spécialement construit à cet effet en attendant que la construction de l'usine de traitement soit achevée. Dans une situation, qui demeure encore probablement unique en son genre, les résidus ont été déposés dans la mine à ciel ouvert dont le minerai a été extrait, encore qu'il existe des exemples d'utilisation d'anciens puits de mine comme dépôts de résidus (Elliot Lake, Canada et Falls City, Texas, États-Unis, par exemple). La mine de *Nabarlek* étant sèche pour l'essentiel, sans aucune venue notable d'eau souterraine, la mise en place des résidus n'a pas été considérée comme susceptible d'entraîner une contamination des ressources en eaux souterraines de la région. Les résidus ont d'abord été entreposés sous eau après avoir été neutralisés à un pH de 9. En 1985, on a changé de méthode d'entreposage, passant à un mode à l'air libre, les points de décharge étant déplacés alternativement d'un côté puis de l'autre de l'excavation pendant les années suivantes. Les opérations de traitement du minerai ont pris fin en 1989. En 1990, après avoir laissé sécher les résidus en surface et se former une croûte, les résidus ont été recouverts de géotextile, puis d'une couche de 1 à 2 mètres de stériles calibrés afin d'offrir une plate-forme de travail pour l'installation des mèches de drainage verticales. Ces mèches ont été mises en place selon un maillage de 3 m x 3 m jusqu'à une profondeur maximale d'environ 33 mètres. Elles ont drainé l'eau à mesure que les résidus ont commencé à se tasser sous leur propre poids, celui de la couverture de pierres et les vibrations des machines. Les mèches étaient encore opérationnelles au début de 1993 après que d'autres matériaux aient été déposés dans la mine.

Après une période de mise sous surveillance, les Autorités de tutelle ont constaté qu'au 31 décembre 1995 la restauration avait été achevée. Au cours de la saison sèche de 1994, un entrepreneur a été engagé pour déclasser et démanteler l'usine de traitement. Les travaux se sont poursuivis pendant toute la saison humide et en avril 1995, tout l'équipement démantelé et décontaminé était certifié et prêt à être enlevé du site. Tout l'équipement restant et les éléments qui n'ont pas pu être nettoyés suffisamment ou de façon rentable, ont été placés dans la mine. Cette dernière a été comblée au moyen d'une couche de stériles d'environ 15 mètres d'épaisseur. Les

bassins d'évaporation ont été comblés par nivelage de leurs talus de remblai et le paysage de l'ensemble de la zone a été remodelé de manière à rétablir une forme du terrain similaire à ce qu'elle était avant l'exploitation minière. L'ensemble du site a été déblayé et tous les terrassements ont été achevés avant la fin de la saison sèche. En décembre 1995 et janvier 1996, il a été procédé à l'ensemencement afin de profiter des pluies du début de la saison humide. Le mélange de semences était une combinaison d'une graminée allogène non persistante pour assurer la stabilité superficielle et une protection initiale contre l'érosion et un mélange très complet de plantes indigènes. Il s'agissait d'avoir toutes les chances de réaliser l'objectif de restauration assigné par les propriétaires aborigènes qui exigeaient que la zone retrouve une couverture végétale correspondant au paysage rural alentour, et permettant les activités traditionnelles de chasse et de cueillette, avec camping de nuit occasionnel. La radioactivité sur le site remis en état a été surveillée et s'est révélée satisfaire les prescriptions lorsque le taux d'occupation convenu de 10 % a été utilisé dans les calculs. Le transfert définitif du site n'a pas encore eu lieu, car la décision finale visant l'acceptabilité de la végétation n'a pas encore été prise. Des parties du site sont bien recouvertes d'arbres et de buissons tandis que d'autres sont pratiquement dénudées. Des investigations sont en cours pour évaluer les chances d'achèvement complet de la remédiation dans les prochaines années. La société minière envisage actuellement la mise en place d'un programme de gestion active de l'environnement sur une base à plein temps en lieu et place des travaux à temps partiel qui ont été menés depuis décembre 1995.

De 1956 à 1964, dans la partie supérieure de la *South Alligator Valley*, région située à environ 200 km au sud-est de Darwin, on comptait 13 mines d'uranium en exploitation et un certain nombre de zones de production possible. Dans chaque cas, la prospection a mis en jeu des forages, des sondages et l'aménagement de galeries et de puits. Les sites ont tous été abandonnés en 1964, conjointement avec une petite usine de traitement et d'extraction par solvant et une installation de piles de Daniell. La réglementation en vigueur à l'époque n'imposait pas de travaux de restauration.

En 1986, un inventaire des mines abandonnées a été entrepris par le Gouvernement fédéral afin d'établir l'importance et le contenu d'un éventuel projet de restauration. La zone est située à l'intérieur des limites du Parc national de Kakadu et le nombre de visiteurs s'accroît d'une année sur l'autre. Les sommes disponibles à partir du fonds fédéral de restauration étaient insuffisantes pour permettre un important programme de restauration. En 1988, à la suite de discussions entre les divers organismes concernés, il a été convenu qu'un programme de réduction des risques serait entrepris. Il s'agissait de réduire les risques matériels aussi bien que radiologiques pour les visiteurs se rendant dans la zone. Ce programme a exigé que les anciens chantiers miniers soient clôturés et rendu si possible inaccessibles. L'étude radiologique devait permettre de déterminer si tous déchets radioactifs susceptibles de poser des problèmes avaient été pris en charge de façon satisfaisante.

Les travaux lancés dans le cadre de deux programmes ont débuté en décembre 1990 et se sont achevés en juillet 1992. Le calendrier de réalisation du terrassement en particulier devait coïncider avec la saison sèche. À la fin de ce programme, les objectifs initiaux de réduction des risques ont été considérés comme atteints. En 1996, l'ancien bail de pâturage de Gimbat, qui comprenait la zone dans laquelle se trouvent ces anciennes mines, a été octroyé aux propriétaires aborigènes, les Jawoyns. L'Association Jawoyn a immédiatement rétrocédé le bail visant la zone à l'État fédéral pour qu'elle soit intégrée à la 3ème étape du Parc national de Kakadu qui est inscrit sur la liste du Patrimoine mondial. L'une des clauses du bail exige que toutes les traces antérieures d'exploitation minière à l'intérieur de la zone objet du bail soient remises en état. En conséquence, des négociations ont été entamées entre les propriétaires aborigènes, l'État fédéral et d'autres parties prenantes (gouvernement du Territoire du Nord, Conseil des terres du nord) en vue de définir les objectifs et finalités du programme de restauration. À la suite de la constitution d'un comité de direction en mars 1999, des réunions se sont tenues en vue de préparer la restauration. Présentement, le plan de restauration est à l'étude et doit faire l'objet d'un accord entre toutes les parties d'ici à décembre 2000. Ce programme

exigera que la totalité des travaux de remise en état soit achevée d'ici à décembre 2015, date convenue dans le bail de 1996. On escompte que les sites seront restaurés de manière à ce qu'ils n'exigent pas une gestion sensiblement différente du reste du Parc national, que les activités traditionnelles de chasse et de cueillette puissent être menées sans restrictions lourdes et que la zone soit sûre pour du camping de courte durée.

### *Activités futures de restauration*

À la mine d'uranium de Ranger, dans le Territoire du Nord, la planification de la restauration finale est bien établie. Chaque année, l'exploitant de la mine, la Société pour les ressources énergétiques de l'Australie [*Energy Resources of Australia Ltd. – ERA*], est tenue d'établir un plan de restauration fondé sur l'hypothèse d'un arrêt de l'exploitation au 1er avril de l'année considérée. Ce plan qui est entièrement chiffré, doit satisfaire les objectifs et finalités convenus pour le site. La finalité générale est définie comme suit :

*« La restauration de la Zone du Projet Ranger doit viser à instaurer dans cette Zone un environnement qui corresponde dans la mesure maximale qu'il soit raisonnablement possible d'atteindre, à l'environnement existant dans les zones contiguës du Parc national de Kakadu, de manière à ce que la zone restaurée puisse être intégrée au Parc national de Kakadu sans amoindrir la valeurs des zones contiguës. »*

Le programme de restauration a pour principaux objectifs :

- De remettre en végétation les sites perturbés de la Zone du projet Ranger à l'aide d'espèces végétales indigènes locales présentant une densité et une abondance analogue à celles existants dans les zones contiguës du Parc national de Kakadu, de manière à constituer un écosystème dont la viabilité à long terme n'exigera pas un régime de maintenance sensiblement différent de celui convenant aux zones contiguës du Parc.
- D'établir des conditions radiologiques stables sur les sites perturbés de la Zone du Projet Ranger, de manière à ce que, avec un minimum de restrictions applicables à l'utilisation de la zone, la limite de dose pour le public ne soit pas dépassée, et que le niveau du risque pour la santé des personnes du public, notamment les propriétaires aborigènes, soit le plus bas que l'on peut raisonnablement atteindre.
- De limiter l'érosion dans les zones restaurées, autant qu'il est raisonnablement possible d'y parvenir, à celle qui caractérise des formes de relief analogues dans des zones non perturbées alentour.

Le plan est évalué chaque année par les principales parties prenantes (Gouvernement fédéral, gouvernement du Territoire du Nord, et Conseil des terres de nord pour le compte des propriétaires aborigènes) et après débats, une version finale est adoptée d'un commun accord. Enfin, ce plan, notamment le coût, est contrôlé par un évaluateur nommé par le Ministre fédéral (actuellement le Ministre de l'industrie, des sciences et des ressources) chargé d'administrer la Loi de 1953 sur l'énergie atomique (loi en vertu de laquelle est délivrée l'autorisation d'extraire du minerai d'uranium). L'estimation par l'évaluateur du coût de mise en œuvre du plan de restauration approuvé est utilisée pour déterminer la somme que la société ERA doit verser à un fonds de dépôt administré par l'État fédéral, garantissant ainsi le coût de la restauration. L'estimation la plus récente du coût de restauration de la Zone du Projet Ranger établie par l'évaluateur s'élève à 29,8 millions de dollars australiens.

À proximité immédiate de la Zone du Projet Ranger, se trouve la concession minière de *Jabiluka*, où la société ERA procède actuellement à l'aménagement du gisement d'uranium N°2 de Jabiluka en tant que mine souterraine. Ce projet de mine a été au centre de bien des controverses et débats internationaux. Il s'ensuit que les exigences en matière de restauration visant ce site ont été rendues encore plus rigoureuses que dans le cas de celui de Ranger. Cela montre que des niveaux croissants de préoccupations du public conduisent à porter de plus en plus haut les normes de restauration.

Dans le cas de Jabiluka, il existe actuellement deux plans d'aménagement possibles approuvés par le Gouvernement fédéral. L'option préférée de la société ERA est « l'option de l'usine de traitement de Ranger », dans laquelle le minerai serait transporté par voie routière à quelque 22 km pour être traité dans l'usine existante de Ranger, tandis que les résidus seraient évacués dans les puits existants des mines épuisées de Ranger. À Jabiluka, les chambres d'abattage seraient remblayées à l'aide de minerai à basse teneur (non rentable) provenant du site de Ranger, réduisant ainsi la quantité de matières minéralisées à intégrer dans la forme de relief restaurée finale du site de Ranger.

La seconde option est dénommée « option de l'usine de traitement de Jabiluka ». Celle-ci exigerait la construction d'une usine à Jabiluka et l'évacuation des résidus à l'intérieur de la concession de Jabiluka. Les prescriptions en matière d'environnement établies par le Ministre fédéral de l'environnement exigent que tous les résidus soient évacués en souterrain. La proposition actuelle de la société ERA consiste à utiliser le plus possible de résidus comme matériau de remblayage des chambres d'abattage, éventuellement jusqu'à 60 %. Les résidus restants seraient placés dans des silos souterrains spécialement creusés dans la roche gréseuse recouvrant les roches encaissantes du gisement. La société ERA procède à des recherches concernant une nouvelle technologie possible telle que la technologie de la pâte (avec ou sans adjonction de ciment) pour l'opération de remplissage des silos. Une décision définitive concernant l'option d'aménagement sera probablement prise au cours des 12 prochains mois.

## **Installations comportant des plans en cours ou futurs relatifs aux activités de restauration**

### *Installations australiennes de production d'uranium*

#### **Mine d'uranium de Ranger**

<b>Caractérisation</b>	Dénomination	Mine d'uranium de Ranger, Jabiru, Territoire du Nord, exploitée par la société « Energy Resources of Australia » (ERA).
	Historique	Découverte en 1969, réserves de 60 500 tonnes d'U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> dans deux corps minéralisés. L'exploitation a débuté sur le gisement N°1 de 1981 à 1995 et sur le deuxième gisement (N°3) de 1997 jusqu'à présent. Le traitement a débuté en 1982 et est présentement en cours ; la zone de la concession minière représente 7 860 ha, le site de la mine couvrant approximativement 500 ha.
	Type d'exploitation	Exploitation à ciel ouvert et traitement visant à produire environ 4 000 tpa d'U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> (capacité maximale 6 000 tpa).
	État actuel	Opérationnelle ; deuxième gisement (N°3) devant être exploité jusqu'à épuisement et les opérations devant s'achever d'ici à 2006 ; période de restauration prévue d'une durée de 5 ans ; l'usine de traitement pouvant continuer de fonctionner avec du minerai provenant du gisement voisin de Jabiluka, en fonction du résultat des négociations avec les propriétaires aborigènes.

## Mine d'uranium de Ranger (suite)

<b>Caractérisation</b>	Dénomination	Mine d'uranium de Ranger Jabiru, Territoire du Nord, exploitée par la société « Energy Resources of Australia » (ERA).
<b>Contamination</b>	Radiologique	Débit de dose gamma dans l'air à partir des stockages de réserve et dans les excavations ; pas d'exposition du public. Présence négligeable de radionucléides dans l'eau provenant du site; des eaux d'exhaure sont répandues à l'intérieur du site mais les zones seront nettoyées si nécessaire avant la fermeture définitive. Débits de dose de radon dans l'air à partir des excavations, du bassin de retenue de résidus et des stockages de réserve ; le débit de dose pour le public dans l'agglomération la plus proche (7 km) est de 50µSv par an. La quantité de poussières dans l'air est très faible ; les résidus sont tous sous eau ou maintenus humides, d'où un minimum de poussières.
	Chimique	Soufre, acide sulfurique, Mn, SO <sub>4</sub> , U, autres métaux, huiles et hydrocarbures divers, par exemple, kérosène et amines de procédé. Autres produits chimiques industriels. Les voies de transfert possible par l'eau sont contrôlées par un système de zones à rejets limités.
<b>Surveillance</b>	Long terme	La société ERA est tenue d'assurer une surveillance des rayonnements, du sol, de l'air et de l'eau (souterraine et de surface) aux termes d'un programme convenu d'un commun accord par la partie prenante, le Gouvernement fédéral et celui du Territoire du Nord et le Conseil des terres du nord pour le compte des propriétaires aborigènes. L'autorité réglementaire [Département des mines et de l'énergie du Territoire du Nord, Gouvernement du Territoire] met en œuvre des programmes de vérification de cette surveillance. Gestion à long terme assurée conjointement par le DME et l'État fédéral.
<b>Haldes de stériles</b>	Déchets <0,02 % d'U)	15 247 936 tonnes.
	Très faible teneur / faible teneur (0,02 %-0,12 %)	26 451 574 tonnes. Certains minerais à très faible teneur et/ou à faible teneur étant enfouis dans la forme de relief finale sous au moins 1 m de stériles non contaminés mis en place et tassés par roulage en deux couches de 500 mm.
	Minerais pouvant être traités (>0,12 %)	6 204 869 tonnes.
<b>Résidus</b>	Bassin de retenue des résidus	Zone d'une superficie de 100 hectares (aire de 1 km <sup>2</sup> ) et refermant 10 millions de m <sup>3</sup> de résidus. Cette installation n'est plus utilisée pour y déposer des résidus actifs mais constitue un bassin d'évaporation et contient encore des résidus. Tous les résidus seront à terme transférés dans les mines N°1 et 3.
	Mine N°1	La mine a approximativement 700 m x 750 m et 160 m de profondeur. Volume disponible pour les résidus (jusqu'au niveau de référence 0.0) : 15 millions de m <sup>3</sup> . Renferme actuellement 5,05 millions de m <sup>3</sup> de résidus ; il s'agit du dépôt en activité.

## Mine d'uranium de Ranger (suite)

<b>Résidus</b> (suite)	Mine N°3	Mine actuellement en exploitation. Devrait pouvoir recevoir 34 millions de m <sup>3</sup> de résidus (jusqu'au niveau de référence 0.0).
<b>Coûts</b>		Le plan de restauration modifié N°24 a été chiffré à 29,8 millions de dollars australiens par l'évaluateur indépendant. Toutes les sommes sont détenues dans un fonds de dépôt, les plans sont actualisés et le fonds réévalué chaque année.
	(Analyse coûts-avantages effectuée par les pouvoirs publics et le propriétaire-exploitant)	Pas de données ni d'analyse coûts-avantages disponibles.

## Olympic Dam

<b>Caractérisation</b>	Dénomination	Olympic Dam (mine de cuivre et d'uranium), Roxby Downs, Australie méridionale.
	Historique	Découverte en 1975. Réserves prouvées : 630 000 tonnes d'U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> . Réserves exploitables : 569 millions de tonnes renfermant 2,0 % de cuivre, 0,6 kg d'U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> /t, 0,7 g/t d'or et 4,9 g/t d'argent. Ouverture du chantier en 1985. Concession d'une superficie de 12 000 ha, la mine etc. couvrant environ 600 ha. L'extraction a débuté en 1985 et le traitement en 1988 : la production a récemment été portée à 4 300 t d'U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> par an.
	Type d'exploitation minière	Extraction en souterrain et traitement en vue de produire environ 4 300 t d'U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> par an.
	État actuel	Agrandissement récent, l'extraction pouvant se poursuivre pendant au moins 60 ans au rythme actuel.
<b>Risque de contamination</b>	Radiologique	Débits de dose gamma – exposition souterraine donc négligeable pour le public. Débits de dose de radon – liés aux émissions à partir des cheminées de ventilation, des stockages de réserve, des installations et résidus de traitement, mais négligeable pour la collectivité. Poussières – mine souterraine ; problème des poussières géré ; installations destinées aux résidus présentant peu de risques en matière de poussière.
	Chimique	Usine d'acide, produits chimiques industriels, U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> , autres métaux, hydrocarbures, eaux salées. Niveau élevé de sécurité au travail ; risque négligeable pour la collectivité.

## Olympic Dam (suite)

<b>Surveillance</b>	Long terme	Rapport trimestriel aux autorités réglementaires visant l'environnement ; rapport annuel à l'intention du public ; programme complet systématique de surveillance de l'environnement mis en œuvre par la société exploitante. La gestion à long terme par les autorités d'Australie méridionale et/ou l'État fédéral de la phase après exploitation a été examinée ; elle sera arrêtée définitivement à une date plus proche du déclassement.
<b>Haldes de stériles</b>	Déchets	Les stériles et résidus grossiers (20 % des résidus) sont utilisés comme matériau de remblayage dans la mine, pas de décharges de résidus en surface ; des pierres utilisées pour le remblayage sont extraites dans une carrière située à 2 km environ de la mine.
	Minerai de très faible teneur	Réserves de minerai minimales en surface. Tout le broyage primaire exécuté en souterrain. Teneur de coupure à 0,06 %.
<b>Résidus</b>	Bassin de retenue des résidus	Fraction grossière utilisée pour le remblayage en souterrain. Fraction fine des résidus déchargée dans 4 dépôts provisoires couvrant environ 360 ha. Renferment actuellement près de 21 millions de tonnes de résidus. La quantité annuelle de résidus déchargée dans ces installations est de 2,7 millions de tonnes. Cette production a été portée à environ 5 millions de tonnes/an vers octobre 1999.
	Bassins d'évaporation	4 bassins, d'une surface conjointe totale de 110 ha pour l'évaporation des liqueurs de résidus.
	Bassin d'évacuation des eaux	30 ha, uniquement pour l'évacuation des eaux souterraines d'exhaure en excédent.
<b>Coûts</b>	Plan de restauration	Le fonds de restauration existe ; s'élève actuellement à 6,22 millions de dollars australiens. L'évaluation des coûts totaux de restauration est révisée tous les six mois. L'ensemble des coûts est actuellement évalué à 60 millions de dollars australiens, mais il existe aussi un engagement de recourir aux meilleures pratiques du moment en matière de déclassement et de restauration.
	(Analyse coûts-avantages effectuée par les pouvoirs publics et le propriétaire-exploitant)	Pas de données disponibles.

## • Brésil •

### **Politiques et réglementation des pouvoirs publics**

Au Brésil, tout projet d'extraction et de traitement du minerai d'uranium exige l'obtention d'une autorisation de l'Institut brésilien des ressources naturelles et de l'environnement [*Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA*] et d'une autorisation de la Commission nationale de l'énergie nucléaire [*Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN*]. Le déclassement d'une installation minière est traité comme un abandon de l'installation et exige les actions suivantes :

- Remblayage par des déblais miniers et scellement de tous les puits, trous, galeries ou autres excavations creusés à des fins de recherche ou pour d'extraction de minerai, qu'ils soient situés en surface ou en souterrain, afin de prévenir la survenue d'accidents.
- Actions visant à limiter les risques potentiels pour la santé et la sécurité des personnes.
- Classification des zones de la mine afin d'éviter le rejet de substances toxiques dans l'environnement.
- Exécution d'un plan d'abandon et de réaménagement du site, devant être approuvé par la CNEN, lorsque d'éventuelles utilisations futures sont prévues.

Ces exigences sont formulées dans la norme CNEN-NE-1.13 (1989) qui régit la délivrance d'autorisations relatives aux mines et installations de traitement des minerais d'uranium et de thorium. La norme ne comporte cependant pas de valeurs chiffrées, mais les rejets dans l'environnement ne doivent implicitement pas dépasser les limites autorisées pour l'exploitation de l'installation.

La norme CNEN-NE-1.10 (1980) contient quant à elle une réglementation spécifique visant les bassins de déchets renfermant des radionucléides. Il est exigé que les déchets soient stabilisés du point de vue physique et chimique pour que tout effluent provenant d'un tel bassin de déchets soit conforme aux niveaux réglementaires admissibles. La stabilisation doit commencer dès la cessation du dépôt de déchets. Les bassins doivent être équipés des moyens permettant de sceller ou d'éliminer les sources d'eaux de drainage contaminées afin d'éviter autant que possible la collecte et le traitement de ces eaux. Ils doivent être protégés contre toute forme de drainage naturel par des structures ouvragées, comme des digues et des endiguements. Ils doivent aussi être contrôlés et des panneaux doivent être installés pour empêcher tout accès du public et toute utilisation illicite des déchets. La stabilisation, le contrôle et l'entretien des bassins à long terme doivent être consignés dans un document qui doit faire partie de toute transaction commerciale portant sur la zone. La CNEN doit aussi être informée sans délai de tout changement de propriétaire du terrain.

Les mines et les installations de traitement de l'uranium sont aussi réglementées par l'IBAMA. À cet égard et en conformité avec la Constitution du Brésil (l'article 225, paragraphe 2), le Décret N°97623 du 10 avril 1989 stipule que pour tout projet d'extraction de minéraux existant dans le pays, il faudra soumettre un plan de réaménagement des zones perturbées dans les 180 jours suivant la promulgation du Décret. Ce Décret a aussi prescrit que, dans le cas d'un nouveau projet, le plan doit être soumis dans le cadre de la procédure d'autorisation du projet du point de vue de l'environnement. Les aspects économiques du réaménagement de l'environnement sont également pris en compte et les coûts liés à cette activité doivent être intégrés à l'ensemble des dépenses du projet.



## **Données rétrospectives sur des activités de réaménagement menées au Brésil**

La seule installation de production d'uranium qui ait été exploitée de façon régulière au Brésil est l'installation d'extraction et de traitement de l'uranium de Poços de Caldas [*Complexo Minerário Industrial do Planalto de Poços de Caldas – CIPC*]. Cette installation a cessé ses activités (de production d'uranium) en 1997. Toutefois, un plan d'action bien défini visant à réaménager le site n'a pas encore été mis en œuvre. La société minière compte encore y traiter d'autres matières, notamment des sous-produits d'une installation traitant la monazite située dans l'État de Rio de Janeiro. Il se peut aussi que de l'uranium soit extrait de minerais de colombo-tantalite provenant du site d'une mine d'étain située dans le nord du pays.

### ***Complexe minier et industriel du plateau de Poços de Caldas – Aperçu historique***

Le CIPC a été aménagé en vue de fournir l'uranium destiné à couvrir la consommation du marché intérieur dans le cadre du programme nucléaire brésilien. Le projet avait pour objectif de produire 500 t d' $U_3O_8$  par an et 275 t de molybdate de calcium par an comme sous-produit.

- 1974 : Construction de l'installation-pilote, aménagement des puits et des galeries.
- 1977 : Début des activités de terrassement.
- 1979 : Début de l'aménagement de l'installation de traitement du minerai.
- Janvier 1981 : Début de la construction du bassin de décantation des résidus.
- Novembre 1981 : Début de la production expérimentale de concentré d'uranium.
- 1982 : Lancement de la production commerciale d'uranium.
- 1990 : Suspension de la production d'uranium par suite de restrictions frappant les investissements.
- 1993 : Redémarrage de la production d'uranium.
- 1997 : Fin de l'extraction minière et de la concentration de l'uranium.

### ***Type de contamination radiologique et chimique***

Les principales sources de contamination pour l'environnement sont le bassin de décantation des résidus, dans lequel les effluents industriels ont été rejetés, ainsi que les déblais de stériles, où l'oxydation des matières pyritiques entraîne la formation d'un drainage acide à faibles valeurs de pH et comportant des quantités importantes de polluants.

Les effluents liquides issus du bassin de décantation des résidus sont traités au chlorure de baryum ( $BaCl_2$ ) pour réduire la concentration de  $^{226}Ra$  et de  $^{228}Ra$ . Il est aussi nécessaire d'ajouter de la chaux dans la zone noyée des résidus afin de maintenir le pH à un niveau élevé (à environ 10). On observe également une oxydation résiduelle des pyrites dans les résidus. Parmi les polluants non radioactifs, le manganèse et les sulfates sont les polluants les plus préoccupants [1]. La concentration moyenne de manganèse dans les effluents du bassin de décantation des résidus est de 56 mg/l (0,70/750 mg/l), et celle des sulfates est de 1 612 mg/l (560/4 600 mg/l). Quant aux polluants radioactifs, les concentrations moyennes sont les suivantes : 0,161 Bq/l (0,002-1,09 Bq/l) pour  $^{226}Ra$  et 0,038 Bq/l (0,15-2,81 Bq/l) pour  $^{238}U$ .

Dans le cas des eaux souterraines, on a déjà enregistré des concentrations de sulfates (185-347 mg/l) supérieures aux niveaux naturels de la zone (<10 mg/l).

Du point de vue des incidences futures, au cas où le traitement chimique des effluents cesserait (ce qui n'est pas envisagé), il est estimé que le groupe critique recevrait des doses de 8 mSv/a (estimation prudente) ou des doses comprises entre 0,48 et 0,62 mSv/a (estimation optimiste). Parmi les radionucléides étudiés, le  $^{210}\text{Pb}$  et le  $^{210}\text{Po}$  sont les plus préoccupants.

Il importe de signaler que le bassin de décantation des résidus a déjà reçu et continue de recevoir le produit du traitement chimique des eaux de drainage des roches acides.

Le tableau 1 indique les concentrations moyennes de quelques polluants présents dans les eaux de drainage acides de l'un des tas de stériles se trouvant sur le site.

**Tableau 1. Concentrations des polluants dans les eaux de drainage acides du tas de stériles N°4 [3]**

<b>Espèces chimiques</b>	<b>Moyenne</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>
$^{226}\text{Ra}$ (Bq/l)	0,29	0,14	0,58
$^{238}\text{U}$ (Bq/l)	175	71	315
Al (mg/l)	96	61	161
F (mg/l)	99	5,10	167
Mn (mg/l)	75	6,60	105
pH	3,30	2,90	3,70

Les eaux de drainage acides des deux tas de stériles présents sur le site sont recueillies dans des bassins de retenue, amenées par pompage dans la mine à ciel ouvert et traitées à l'aide de  $\text{CaCO}_3$  et de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Les matières solides sont déposées dans le bassin de décantation des résidus et la surverse est rejetée dans l'environnement à condition de respecter les niveaux autorisés fixés par l'autorité de réglementation en ce qui concerne l'activité volumique des radionucléides.

### ***Type de contrôle et de surveillance à long terme***

En ce qui concerne l'exploitation industrielle, un programme de surveillance détaillé est appliqué. Des échantillons d'air, de terre, d'eaux de surface, d'eaux souterraines, de légumes et de produits de l'élevage (lait) sont prélevés dans le cadre d'un programme périodique. De plus, il est procédé à des mesures de l'exposition externe aux rayonnements gamma à l'aide de dosimètres thermoluminescents. Les effluents font aussi l'objet d'un contrôle. Les radionucléides recherchés sont ceux à vie longue des familles de  $^{236}\text{U}$  et de  $^{232}\text{Th}$  ( $^{238}\text{U}$ ,  $^{223}\text{Ra}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{232}\text{Th}$  et  $^{228}\text{Ra}$ ). Les polluants non radioactifs tels que l'aluminium, le manganèse, les sulfates, le fer et les fluorures sont aussi mesurés dans les échantillons d'effluents et d'eau. Ce programme devra être poursuivi avec certaines adaptations, après la fermeture de la mine.

### ***Déblais de stériles, tas de minerai de teneur normale et insuffisante***

Les activités d'exploitation du CIPC ont engendré des tas de stériles qui sont décrits au tableau 2.

Tableau 2. **Volume, masse et superficie des tas de stériles du CIPC [4]**

Tas de stériles	Volume ( $10^6 \text{ m}^3$ )	Masse ( $10^6 \text{ t}$ )	Superficie ( $10^6 \text{ m}^2$ )
Tas N°1	4,4	10,6	2,5
Tas N°3	9,8	23,5	2,0
Tas N°4	12,4	29,8	5,7
Tas N°7	2,4	5,8	5,3
Tas N°8	14,8	35,5	6,4
Total	43,8	105,2	21,9

Les tas de stériles plus importants du point de vue de l'environnement sont les N°4 et 8. Quelque  $8,9 \times 10^5 \text{ m}^3$  d'eaux acides ont été pompées à partir du bassin de retenue du tas de stériles N°4. Les précipitations moyennes atteignent 1,7 m/a sur le site. Le tableau 3 récapitule les coûts liés au traitement des eaux de drainage acides au CIPC.

Tableau 3. **Consommation et coût liés au traitement des eaux de drainage acides [4]**

Période	Quantité de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (t/an)	Coût (USD/an)
1982-1988	1 620	137 700
1989-1992	2 246	190 910
Total	17 084	1 442 140

On reconnaît que l'option de la collecte et du traitement ne saurait constituer une solution définitive au problème et que des solutions permanentes doivent être recherchées.

### **Résidus**

Il n'existe qu'un seul bassin de décantation des résidus au CIPC. La petite dépression où il est situé se présente géologiquement comme un socle rocheux constitué essentiellement de roches volcaniques alcalines du Crétacé, recoupées par une faille, des diaclases et des filons de fluorine. Les fondations du bassin ont initialement été homogénéisées par l'injection d'un coulis de ciment pour réduire la perméabilité et empêcher tout élargissement éventuel des fractures. Le tableau 4 présente les autres caractéristiques du bassin de décantation des résidus. À l'heure actuelle, il comprend une zone recouverte d'eau (lac du bassin de décantation des résidus) et une zone qui ne l'est pas (zone sèche).

Tableau 4. **Caractéristiques générales du bassin de décantation des résidus [2]**

Superficie de drainage	$0,86 \text{ km}^2$
Rejet moyen de déchets	$0,15 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
Volume	$2,17 \times 10^6 \text{ m}^3$
Volume maximal de déchets évacués	$1,97 \times 10^6 \text{ m}^3$
Débit moyen à la sortie	$0,05 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Le tableau 5 indique l'inventaire global du bassin de décantation des résidus.

Tableau 5. **Inventaire des métaux et radionucléides dans le bassin de décantation des résidus [2]**

Élément	Inventaire total
Al	$2.5 \times 10^5$ t
Fe	$5.6 \times 10^4$ t
Mn	$4.1 \times 10^2$ t
Ca	$1.8 \times 10^2$ t
Zn	$3.5 \times 10^3$ t
U	$3.70 \times 10^2$ t
Th	$8.20 \times 10^1$ t
<sup>226</sup> Ra	$5.1 \times 10^{12}$ Bq
<sup>228</sup> Ra	$2.9 \times 10^{12}$ Bq
<sup>210</sup> Pb	$6.9 \times 10^{12}$ Bq

On a estimé que  $66 \times 10^3$  t des précipités résultant de la neutralisation des eaux d'exhaure ont été déposées dans le bassin de décantation des résidus.

### Coûts

L'exploitant minier n'a pas encore fourni de budget ferme pour le réaménagement du site de la mine. Les données spécifiques s'inspirent d'un travail indépendant [3] et portent surtout sur le réaménagement du bassin de décantation des résidus et des tas de stériles.

Dans le cas des tas de stériles, les études ont surtout été axées sur le tas N°4. Elles avaient pour objet de fournir des solutions permanentes en matière d'action corrective. On a établi que la cause agissante dans le processus d'oxydation de la pyrite était la diffusion de l'oxygène de l'air dans les déblais.

On a estimé que les matières déposées avaient un taux d'oxydation intrinsèque de  $10^{-9}$  kg (O<sub>2</sub>)/m<sup>3</sup>s<sup>1</sup>. On a également estimé qu'il faudrait plus de 500 ans pour que les matières pyriteuses renfermées dans le bassin de décantation soient consommées en totalité. Ces résultats ont été obtenus par des calculs de bilans massiques, par des expériences de lixiviation en colonne et par modélisation géochimique. Au moyen de simulations mathématiques, on a observé qu'une couverture de 0,5 m d'épaisseur ayant un coefficient de diffusion de l'oxygène de  $1 \times 10^{-9}$ /m<sup>2</sup>s<sup>1</sup> (argile compactée) constituerait une stratégie de réaménagement efficace, compte tenu de l'analyse coûts-bénéfices. L'ensemble des dépenses nécessaires pour recouvrir la décharge de résidus (système de trois couches superposées de gravier, d'argile et de sable) s'élèverait à 10 millions d'USD. Des travaux techniques (remodelage) seront aussi nécessaires. Ces coûts ne concernent que l'un des tas de stériles. En gros, il est prévisible que des coûts du même ordre seront encourus pour le tas de stériles N°8. On a également estimé à 70 millions d'USD les coûts qu'entraînerait la solution consistant à remettre ces matériaux dans la mine à ciel ouvert.

En ce qui concerne le bassin de décantation des résidus, on a jugé dans l'étude susmentionnée que la contamination des eaux souterraines par les radionucléides ne sera observable qu'après 4 000 ans (les concentrations de pointe n'apparaissant qu'après 7 000 ans). Le plan de réaménagement pris en compte la réduction des émanations de radon (on a estimé que les doses dues à l'inhalation de radon seraient égales à 40 mSv/a la première année en cas d'intrusion, c'est-à-dire si on construisait une maison sur les résidus) et des expositions externes aux rayonnements gamma (on a aussi estimé que les doses seraient de l'ordre de 8 mSv/a).

Le plan proposé consiste à recouvrir les résidus par un ensemble de trois couches. Le coût total de l'application de ce plan s'élèverait à 3,7 millions d'USD.

Les coûts mentionnés plus haut se fondent sur les prix standard du marché. De toute évidence, ils peuvent être abaissés si, par exemple, la matière argileuse est obtenue sur le site à partir de zones avoisinantes.

### **Autres installations de production d'uranium**

Le projet de Lagoa Real est entré en exploitation en 2000. L'uranium y est extrait par lixiviation en tas et l'on escompte parvenir à une production annuelle totale d'environ 300 t d'U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>.

Le plan de réaménagement comprend le noyage de la mine à ciel ouvert. Les tas de stériles seront recouverts d'argile et de terre, puis remis en végétation avec des espèces locales. Les aires de lixiviation seront contrôlées en vue de déterminer une contamination éventuelle du sol. En cas de contamination, le sol sera recouvert de stériles, de terre végétale et revégétalisé. Les bassins de décantation des résidus seront drainés et recouverts d'un matériau imperméable (PVC, argile ou asphalte), puis de stériles et de terre végétale, et remis en végétation.

### **Références**

- [1] Fernandes H.M., Veiga L.H.S., Franklin M.R., Prado V.C.S. and Taddei F. (1994), *Environmental Impact Assessment of Uranium Mining and Milling Facilities : A study case at the Poços de Caldas Uranium Mining and Milling Site, Brazil* (Évaluation de l'impact sur l'environnement des installations d'extraction et de traitement de l'uranium: étude de cas du site du complexe minier et industriel du plateau de Poços de Caldas, Brésil). Journal of Geochemical Exploration.
- [2] Fernandes H.M., Franklin M.R., Veiga L.H.S., Freitas P. and Gomiero L.A. (1996), *Management of Uranium Mill Tailings : Geochemical Processes and Radiological Risk Assessment* (Gestion des résidus du traitement de l'uranium : processus géochimiques et évaluation du risque radiologique). Journal of Environmental Radioactivity, Vol 30, No. 1 69-95.
- [3] Fernandes H.M. (1997), *Subsídios ao Descomissionamento da Primneira Indústria de Mineração e Beneficiamento de Urânio no Brasil – O Caso do Complexo Mínero Industrial de Poços de Caldas – MG*. Thèse de doctorat. Département de géochimie de l'Université fédérale Fluminense. Niterói. 250 p. (en portugais).
- [4] Prado V.C.S. (1994), *O Impacto da Produção de Concentrado de Urânio sobre a Qualidade da Água dos Rios – Um estudo de Caso na Área do Complexo Mínero Industrial do Planalto de Poços de Caldas*. Mémoire de maîtrise en sciences. Coordination des programmes d'études supérieures en ingénierie. Université fédérale de Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 195 p. (en portugais).

## • Canada •

### **Politiques et réglementations des pouvoirs publics**

La totalité des activités nucléaires au Canada, y compris l'extraction et le traitement du minerai d'uranium, relève de la compétence du gouvernement fédéral. Les gouvernements provinciaux et territoriaux du Canada ont également juridiction sur les activités minières, y compris celles relatives à l'uranium, comme décrit ci-dessous.

#### *Politique fédérale*

En 1996, le gouvernement fédéral a annoncé une politique-cadre pour les déchets radioactifs, qui met en avant l'engagement du Gouvernement du Canada en faveur des principes du développement durable et doit guider la politique du Canada à l'égard de l'évacuation des déchets de combustible nucléaire, des déchets faiblement radioactifs et des résidus d'extraction et de traitement du minerai d'uranium. Elle énonce les principes régissant les dispositions institutionnelles et financières applicables à l'évacuation des déchets radioactifs. Elle définit aussi de façon précise les compétences du gouvernement fédéral et des producteurs et/ou des propriétaires. Il incombe notamment au Gouvernement du Canada :

- d'élaborer les politiques ;
- de réglementer les producteurs et les propriétaires de déchets radioactifs ;
- de vérifier que les producteurs et les propriétaires se conforment aux exigences de la loi et s'acquittent de leurs responsabilités financières et opérationnelles.

En accord avec le principe du « pollueur-payeur », les producteurs et les propriétaires doivent assurer :

- L'exploitation, le déclassement et la fermeture des installations d'évacuation et autres structures de gestion des déchets.
- Le financement, l'organisation et la gestion qu'exigent leurs déchets.

#### *Lois et règlements au niveau fédéral*

Le gouvernement fédéral a la responsabilité d'élaborer la réglementation applicable aux questions ayant trait à l'énergie atomique, notamment aux mines d'uranium et usines de traitement de l'uranium, aux termes de la *Loi sur la sûreté et la réglementation nucléaires (LSRN)*<sup>1</sup>. Conformément à cette Loi, la Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN) est responsable de l'administration et de l'autorisation des installations d'extraction de l'uranium. Parmi les règlements pertinents pris en vertu de cette loi figurent :

- Règlement général sur la sûreté et la réglementation nucléaire.
- Règlement sur les mines et les usines de concentration d'uranium.

---

1. La LSRN a été promulguée le 31 mai 2000, en remplacement de la Loi sur le contrôle de l'énergie atomique en vigueur depuis 1946.

La restauration de l'environnement et le déclassé des installations de production d'uranium sont régis par le *Règlement sur les mines et les usines de concentration d'uranium*. Ce règlement stipule qu'une installation d'extraction de minerai d'uranium doit être déclassée conformément à un permis de la CCSN. La demande d'autorisation doit être accompagnée : d'un plan détaillé de déclassé ; d'information sur le territoire, les bâtiments, les équipements et les substances nucléaires et dangereuses qui seront touchés par le déclassé ; et une description de l'état du site prévu à l'issue des travaux de déclassé.

Les sociétés inscrivent chaque année des provisions comptables en vue de financer les coûts futurs du déclassé et de la restauration. En outre, des garanties financières formelles, revêtant habituellement la forme de lettres de crédit irrévocables, couvrant les coûts du déclassé et de la gestion des déchets relatifs à la même ou l'usine de concentration doivent être soumises aux autorités réglementaires préalablement à la mise en service de la mine ou l'usine.

Aux termes de la *Loi canadienne sur l'évaluation environnementale* (LCEE)<sup>2</sup>, en vigueur depuis 1995, une évaluation environnementale doit être exécutée par le(s) opérateur(s) avant la construction, l'exploitation, la modification, le déclassé ou l'abandon définitif des installations d'extraction et de traitement du minerai d'uranium.

En plus de la politique-cadre pour les déchets radioactifs et des principales lois et règlements susmentionnés, les directives suivantes sont applicables au déclassé des mines et usines de concentration d'uranium :

- *Plans de déclassé des installations autorisées*. Le Document réglementaire G-219 de juin 2000 donne des directives sur les moyens de se conformer aux exigences réglementaires de la CCSN relatives à la préparation des plans de déclassé et les bases pour calculer les garanties financières.
- *Garanties financières pour le déclassé installations nucléaire*. Le Document réglementaire G-206 de juin 2000 donne des directives relatives à la mise en place et au maintien de mesures pour financer le déclassé des activités autorisées par la CCSN.
- *Objectifs, exigences et lignes directrices réglementaires à long terme pour l'évacuation des déchets radioactifs*. Le Document réglementaire R-104 de juin 1987 esquisse la base réglementaire permettant de juger l'acceptabilité à long terme de l'évacuation des déchets radioactifs.
- *Plan de déclassé des activités autorisées*, Document consultatif G-219 de juin 2000. Fournit des directives pour la préparation d'un plan de déclassé.
- *Garantis financières pour le déclassé d'activités autorisées*, Document consultatif G-206 de juin 2000. Donne des directives réglementaires pour la création et le maintien de mesures afin de financer les activités de déclassé.

### ***Législation et réglementation au niveau des provinces et/ou territoires***

Selon la localisation d'une installation d'extraction d'uranium au Canada, certaines législations ou réglementations provinciales ou territoriales peuvent aussi s'appliquer au déclassé.

---

2. Adoptée le 19 janvier 1995.

La Loi sur l'évaluation environnementale [*Saskatchewan Environmental Assessment Act*] du Gouvernement de la Saskatchewan, impose au(x) promoteur(s) de développements dans la province, y compris l'extraction et la concentration de l'uranium, de fournir une déclaration d'impact sur l'environnement décrivant l'évaluation. Le 30 novembre 1999, les gouvernements du Canada et de la Saskatchewan ont signé un accord pour améliorer la coopération entre la province et la fédération en ce qui concerne l'évaluation environnementale des projets soumis à la fois au *Saskatchewan Environmental Assessment Act* et au *Canadian Environmental Assessment Act*. Un projet conceptuel de déclassement fait partie de l'évaluation initiale d'un projet minier et un plan de déclassement final sera soumis à une évaluation avant la fermeture d'un projet.

Le département provincial de l'environnement [*Saskatchewan Environment and Resource Management – SERM*] exige, entre autres choses, l'approbation d'un plan de déclassement et de remise en état au cours de la phase de développement de mines et d'usines de concentration d'uranium, en vertu de la loi sur la protection et la gestion de l'environnement [*Environment Management and Protection Act*]. Pendant la période d'exploitation, le SERM exige des approbations annuelles en vertu des réglementations sur la pollution de l'air [*Air Pollution Regulations*], les substances et les déchets dangereux [*Hazardous Substances and Waste Dangerous Goods Regulations*] et la protection de l'environnement autour des sites d'exploitation de minerai [*Mineral Industry Environment Protection Regulations*]. Si une compagnie souhaite fermer définitivement un site minier, elle doit obtenir l'accord du SERM pour mettre en œuvre un plan de déclassement en accord avec les directives pour le déclassement et la remise en état des sites miniers du Nord [*Guidelines for decommissioning and Reclamation of Northern Minesites*].

Dans la province de l'Ontario, la *Loi sur la protection de l'environnement* et la *Loi sur les évaluations environnementales* sont les principaux éléments de la législation applicable au déclassement des mines et usines de concentration d'uranium. En 2000, la Loi sur les mines a été amendée afin d'inclure le code de réaménagement des mines. Ce code couvre les exigences des autres ministères de l'Ontario (tels le Ministère de l'Environnement, le Ministère de Travail et le Ministère des Ressources Naturelles) afin d'aider des demandeurs d'autorisation à satisfaire les prescriptions de la Loi sur les mines lors de la préparation des plans de déclassement.

Dans les Territoires du Nord-Ouest, la *Loi sur les terres territoriales*, qui relève de la juridiction du Ministère des Affaires indiennes et du Nord Canada (MAINC), est la « loi habilitante » en vertu de laquelle ont été pris plusieurs règlements notamment : le *Règlement sur l'exploitation minière au Canada*, le *Règlement sur l'utilisation des terres territoriales*, le *Règlement sur les terres territoriales* et le *Règlement sur l'exploitation de carrières territoriales*. La *Loi sur les Eaux des Territoires du Nord-Ouest* est administrée par le MAINC et l'Office des eaux des Territoires du Nord-Ouest supervise l'utilisation et l'évacuation des eaux. Au plan fédéral, la *Loi sur les pêches* administrée par le Ministère canadien des Pêches et des Océans, interdit de détériorer ou de contaminer les habitats des poissons ; le *Règlement sur les effluents liquides des mines de métaux* fait partie de cette législation. Des projets futurs ou nouveaux seraient probablement examinés par l'Office d'examen des répercussions environnementales de la vallée du Mackenzie ou la Commission du Nunavut chargée de l'examen des répercussions.

## **Historique et panorama des sites canadiens**

La première mine d'uranium au Canada est entrée en exploitation à Port Radium dans les Territoires du Nord-Ouest en 1933, et appartenait à une société privée, Eldorado Gold Mines. Les



concentrés qui renfermaient de l'uranium associé ont été expédiés à Port Hope, dans l'Ontario, où le radium a été extrait. À cette époque, l'uranium n'avait guère, voire pas de valeur commerciale. La mine de Port Radium a été exploitée pour le radium jusqu'en 1940 et réouverte en 1942 afin de répondre à la demande d'uranium des programmes de défense britanniques et américains.

En 1943, les gouvernements du Canada, du Royaume-Uni et des États-Unis ont frappé d'interdiction la prospection et la mise en valeur des matières radioactives par des intérêts privés. Également en 1943, le Gouvernement fédéral du Canada a nationalisé *Eldorado Gold Mines* et établi la société de la Couronne *Eldorado Mining and Refining* ayant le monopole de toutes les activités de prospection et de mise en valeur de l'uranium. Le Canada a levé l'interdiction frappant la prospection privée en 1948.

En 1949, *Eldorado Mining and Refining* a démarré l'exploitation d'une mine d'uranium dans la zone de Beaverlodge, au nord de la province de la Saskatchewan, et en 1953 a commencé le traitement du minerai sur le site. Les mines et les usines de concentration de Gunnar et de Lorado sont entrées en service dans la même région respectivement en 1955 et 1957. Plusieurs autres petites mines ont été mises en exploitation dans la zone dans les années 50, le minerai étant envoyé dans les usines de concentration de Gunnar ou de Lorado.

Dans la Province de l'Ontario, quinze mines ont commencé à produire entre 1955 et 1960 dans les zones d'Elliot Lake et Bankroft (douze à Elliot Lake : Pronto, Buckles, Lacnor, Nordic, Quirke, Panel, Milliken, Spanish American, Stanleigh, Stanrock, Can-Met et Denison ; et trois à Bankroft : Madawaska/Friday, Bicroft et Dyno). Dix de ces centres de production à Elliot Lake et trois à Bankroft ont laissé des résidus.

La production d'uranium au Canada a atteint un niveau record en 1959 avec 12 200 t d'U. En 1959, la demande d'uranium pour les besoins militaires a décliné de façon spectaculaire et l'industrie minière de l'uranium canadienne est entrée dans une période de déclin. La production était tombée à moins de 3 000 t d'U en 1966. Les ventes commerciales d'uranium aux compagnies d'électricité ont alors relancé l'industrie. Le gouvernement de la Saskatchewan a offert des primes à la prospection de l'uranium et des gisements ont été découverts à Rabbit Lake en 1975, Cluff Lake en 1980 et Key Lake en 1983. Bien que la plupart des mines et usines de l'Ontario aient fermé vers la fin des années 60, la demande des compagnies d'électricité a entraîné une reprise de la production dans les années 70, en particulier dans la région d'Elliot Lake, y compris le développement d'une nouvelle installation de production à Agnew Lake à quelque 90 km à l'ouest d'Elliot Lake. La dernière mine de la région, celle de Stanleigh, a fermé en juin 1996.

À l'heure actuelle, toutes les mines en exploitation sont situées dans la province de la Saskatchewan. Il s'agit des mines de Cluff Lake, McClean Lake et McArthur River. On trouve des usines de concentration et des déblais de résidus sur deux de ces sites, Cluff Lake et McClean Lake ainsi qu'à Rabbit Lake où l'exploitation a été arrêtée en avril 1999 et à Key Lake où les gisements ont été épuisés en 1997. Le dépôt de résidus continue cependant à Key Lake car tout le minerai de McArthur River est traité à l'usine de concentration de Key Lake.

Outre les sites en exploitation de la Saskatchewan, les sites désaffectés ou déclassés dans la Saskatchewan, l'Ontario et les Territoires du Nord-Ouest possèdent des résidus d'uranium, comme l'indique le tableau 1.

Il existe également deux projets dans la Saskatchewan, dont la mise en exploitation est prévue, Midwest et Cigar Lake. Le démarrage de la production sur ces sites est actuellement prévu pour 2003

et 2005 respectivement mais les dates effectives dépendront des conditions du marché et de l'approbation réglementaire. À l'heure actuelle, il est prévu de traiter le minerai provenant de Midwest à McClean Lake alors que le minerai provenant de Cigar Lake serait traité à la fois à McClean Lake et à Rabbit Lake. Activités de réaménagement au Canada

En plus des quatre installations de résidus en service sur les sites en exploitation dans la Saskatchewan et des deux sites désaffectés de résidus se trouvant près des mines et usines de concentration en exploitation de Key Lake et de Rabbit Lake, il existe 20 sites désaffectés à divers stades de déclassement et de remise en état de l'environnement. La figure 1 indique l'emplacement de ces sites de mines et de résidus d'uranium au Canada.

### ***Activités passées de réaménagement***

#### *Saskatchewan*

Il existe trois sites dés affectés de production d'uranium dans la Province de la Saskatchewan. L'établissement de Beaverlodge a été fermé en 1982 et déclassé en 1985. La Corporation Cameco exécute actuellement une surveillance après déclassement et une évaluation du site des installations de Beaverlodge autorisées par la CNSC.

Les sites de Gunnar et de Lorado ont été fermés respectivement en 1960 et 1964, et n'ont pas été convenablement déclassés. Certaines activités de déclassement ont été menées sur le site de Gunnar au début des années 90.

#### *Territoires du Nord-Ouest*

Il existe deux sites désaffectés d'extraction et de traitement du minerai d'uranium dans les Territoires du Nord-Ouest. Des activités minières ont été menées sur le site de Port Radium de 1933 à 1940 et de 1942 à 1960 en vue de récupérer respectivement le radium et l'uranium, en enfin de 1964 à 1982 pour la production d'argent. Le site a été partiellement déclassé en 1984. En 2000, le gouvernement fédéral a passé un accord de partenariat avec la collectivité locale en vue d'examiner les mesures à prendre sur ce site.

De l'uranium a été extrait et traité sur le site de Rayrock de 1957 à 1959, date à laquelle ces activités ont été abandonnées. Le Ministère des Affaires indiennes et du Nord Canada a entrepris le déclassement et le réaménagement du site de Rayrock, notamment le recouvrement des résidus en 1996. Une surveillance du comportement du site de Rayrock a débuté en 1996.

Tableau 1. Sites des mines et résidus d'uranium – Récapitulatif

Nom de la mine et/ou de l'usine	Exploitant et/ou partie responsable	Localisation	Site du bassin de décontamination des résidus	Historique de l'exploitation	Stade de déclassement	Permis en cours de validité de la CCSN
<b>Sites en exploitation</b>						
Cluff Lake	Cogéma Resources Inc.	Nord de la Saskatchewan	Zone de gestion des résidus de Mill Creek Valley	Site en exploitation depuis 1980. Evacuation des résidus depuis 1983. Activités d'extraction et de traitement du minerai devant être interrompues respectivement en 2001 et 2002.	À réaliser à l'avenir	Permis d'exploitation d'installation minière
Key Lake	Corporation Cameco	Nord de la Saskatchewan	Installation de gestion des résidus de Deilmann	Site en exploitation depuis 1983. Evacuation des résidus depuis 1995. Exploitation minière suspendue ; poursuite des opérations de concentration sur des minerais en stock ou provenant de la mine de McArthur River.	À réaliser à l'avenir	Permis d'exploitation d'installation minière
Rabbit Lake	Corporation Cameco	Nord de la Saskatchewan	Mine à ciel ouvert de Rabbit Lake	Activités d'extraction et de traitement du minerai depuis 1975. Evacuation des résidus depuis 1985. Exploitation minière suspendue depuis mars 1999 ; concentration devant être interrompue en juin 2001.	À réaliser à l'avenir	Permis d'exploitation d'installation minière
McClellan Lake	Cogéma Resources Inc.	Nord de la Saskatchewan	Mine à ciel ouvert de JEB	Début des activités d'extraction et de traitement du minerai en juillet 1999. Evacuation des résidus depuis 1999.	À réaliser à l'avenir	Permis d'exploitation d'installation minière

Tableau 1. Sites des mines et résidus d'uranium – Récapitulatif (suite)

Nom de la mine et/ou de l'usine	Exploitant et/ou partie responsable	Localisation	Site du bassin de décontamination des résidus	Historique de l'exploitation	Stade de déclassement	Permis en cours de validité de la CCSN
McArthur River	Corporation Cameco	Nord de la Saskatchewan	Aucun - Minéral traité à Key Lake	Début des activités d'extraction minière en décembre 1999. Pas de traitement sur place.	À réaliser à l'avenir	Permis d'exploitation d'installation minière
<b>Sites désaffectés ou déclassés</b>						
Key Lake	Corporation Cameco	Nord de la Saskatchewan	Stockage des résidus en surface	Site en exploitation depuis 1983 ; évacuation des résidus entre 1983 et 1996.	À réaliser à l'avenir ; s.p.	Permis d'exploitation d'installation minière
Rabbit Lake	Corporation Cameco	Nord de la Saskatchewan	Stockage des résidus en surface	Site en exploitation depuis 1975 ; évacuation des résidus entre 1975 et 1985.	À réaliser à l'avenir ; s.p.	Permis d'exploitation d'installation minière
Beaverlodge	Corporation Cameco	Nord de la Saskatchewan	Stockage des résidus en surface et remblayage de la mine souterraine	Site en exploitation de 1953 à 1982.	Majoritairement achevé en 1985 ; contrôle en cours.	Permis de déclassement d'installation minière
Gunnar	Gouvernement de la Saskatchewan	Nord de la Saskatchewan	Stockage des résidus en surface	Site en exploitation de 1955 à 1964.	Pas achevé	Non autorisé
Lorado	Gouvernement de la Saskatchewan	Nord de la Saskatchewan	Stockage des résidus en surface	Site en exploitation de 1957 à 1960.	Pas achevé	Non autorisé
Port Radium	Ministère des Affaires indiennes et du Nord Canada	Territoires du Nord-Ouest	Stockage des résidus en surface - Quatre zones	Site en exploitation de 1942 à 1960 et de 1964 à 1982. <sup>2</sup>	Partiellement réalisé en 1984	Non autorisé
Rayrock	Ministère des Affaires indiennes et du Nord Canada	Territoires du Nord-Ouest	Tas de résidus Nord et Sud	Site en exploitation de 1957 à 1959.	En cours ; s.p.	Permis de substances réglementées
Denison	Denison Mines Ltd.	Elliot Lake, Ontario	Zone de gestion des résidus de Denison	Site en exploitation de 1957 à 1992.	Achévé en 1999. Résidus noyés ; s.p.	Permis de déclassement d'installation minière

Note : s.p. = surveillance permanente

Tableau 1. Sites des mines et résidus d'uranium – Récapitulatif (suite)

Nom de la mine et/ou de l'usine	Exploitant et/ou partie responsable	Localisation	Site du bassin de décontamination des résidus	Historique de l'exploitation	Stade de déclassement	Permis en cours de validité de la CCSN
<b>Sites désaffectés ou déclassés</b>						
Stanrock/Can-Met	Denison Mines Ltd.	Elliot Lake, Ontario	Zone de gestion des résidus de Stanrock	Site en exploitation de 1957 à 1964.	Achévé en 1999. Résidus recouverts et remis en végétation ; s.p.	Permis de déclassement d'installation minière
Quirke 1 & 2	Rio Algom Ltd. <sup>5</sup>	Elliot Lake, Ontario	Zone de gestion des déchets de la mine de Quirke	Site en exploitation de 1956 à 1961 et de 1968 à 1992.	Achévé en 1999. Résidus noyés ; s.p.	Permis de déclassement d'installation minière
Panel	Rio Algom Ltd. <sup>5</sup>	Elliot Lake, Ontario	Zone de gestion des déchets de la mine de Panel, Bassin principal (Nord) & Bassin Sud	Site en exploitation de 1958 à 1961 et de 1979 à 1990.	Achévé en 1999. Résidus noyés ; s.p.	Permis de déclassement d'installation minière
Stanleigh	Rio Algom Ltd. <sup>5</sup>	Elliot Lake, Ontario	Zone de gestion des déchets de Stanleigh	Site en exploitation de 1958 à 1961 et de 1983 à 1996.	Achévé en 1999. Résidus noyés ; s.p.	Permis de déclassement d'installation minière
Spanish American	Rio Algom Ltd. <sup>5</sup>	Elliot Lake, Ontario	Zone de gestion des déchets de Spanish American	Site en exploitation de 1958 à 1959.	Achévé en 1999. Résidus noyés ; s.p.	Non autorisé
Milliken	Rio Algom Ltd. <sup>5</sup>	Elliot Lake, Ontario	Zone de gestion des déchets de Stanleigh et parc de Sheriff Creek	Site en exploitation de 1958 à 1965.	Achévé en 1999 ; s.p.	Non autorisé

Note : s.p. = surveillance permanente

Tableau 1. Sites des mines et résidus d'uranium – Récapitulatif (suite)

Nom de la mine et/ou de l'usine	Exploitant et/ou partie responsable	Localisation	Site du bassin de décontamination des résidus	Historique de l'exploitation	Stade de déclassement	Permis en cours de validité de la CCSN
<b>Sites désaffectés ou déclassés</b>						
Lacnor	Rio Algom Ltd. <sup>5</sup>	Elliot Lake, Ontario	Zone de gestion des déchets de Lacnor	Site en exploitation de 1957 à 1960.	Achévé en 1999. Résidus en partie noyés et en partie remis en végétation ; s.p.	Non autorisé
Nordic	Rio Algom Ltd. <sup>5</sup>	Elliot Lake, Ontario	Zone de gestion des déchets de Nordic	Site en exploitation de 1957 à 1990.	Achévé en 1999. Résidus recouverts et remis en végétation ; s.p.	Non autorisé
Buckles	Rio Algom Ltd. <sup>5</sup>	Elliot Lake, Ontario	Zones de gestion des déchets de Spanish American et de Lacnor	Site en exploitation de 1957 à 1958.	Achévé en 1999 ; s.p.	Non autorisé
Pronto	Rio Algom Ltd. <sup>5</sup>	Blind River, Ontario	Zone de gestion des déchets de Pronto	Site en exploitation de 1958 à 1960 et de 1961 à 1970.	Partiellement achevé en 1999. Résidus partiellement recouverts ; s.p.	Non autorisé
Agnew Lake	Gouvernement de l'Ontario	Espanola, Ontario	Stockage des résidus en surface	Site en exploitation de 1977 à 1983.	Achévé en 1990. Résidus recouverts et remis en végétation. Pas d'autres mesures	Non autorisé

Note : s.p. = surveillance permanente

Tableau 1. Sites des mines et résidus d'uranium – Récapitulatif (suite)

Nom de la mine et/ou de l'usine	Exploitant et/ou partie responsable	Localisation	Site du bassin de décontamination des résidus	Historique de l'exploitation	Stade de déclassement	Permis en cours de validité de la CCSN
<b>Sites désaffectés ou déclassés</b>						
Dyno	AEC West Ltd.	Bancroft, Ontario	Stockage des résidus en surface	Site en exploitation de 1958 à 1960.	Achévé au cours des années 90. Résidus recouverts et remis en végétation ; surveillance permanente.	Non autorisé
Bicroft	Barrick Properties	Bancroft, Ontario	Stockage des résidus en surface – Deux zones	Site en exploitation de 1958 à 1963.	Achévé en 1990. Résidus recouverts et remis en végétation ; surveillance permanente.	Non autorisé
Madawaska/ Faraday	AEC West Ltd.	Bancroft, Ontario	Stockage des résidus en surface – Deux zones	Site en exploitation de 1957 à 1964 et de 1976 à 1983.	Achévé en 1994. Résidus recouverts et remis en végétation ; surveillance permanente.	Permis de déclassement

CCSN : Commission canadienne de sûreté nucléaire.

1. Actuellement non autorisé, permis de substances réglementées en instance.
2. Extraction et traitement du minerai argentifère de 1964 à 1982.
3. L'extraction et le traitement de l'uranium ont cessé en 1968 ; séchage et remblayage manuel.
4. Arrêt en 1960 des opérations d'extraction et de traitement du minerai d'uranium ; traitement du cuivre provenant de la mine de Pater dans l'usine et dépôt de résidus dans la zone de gestion des déchets jusqu'en 1970.
5. Rio Algom a été racheté par Billiton Base Metals en novembre 2000.

## Ontario

### Région d'Elliot Lake

On compte 12 mines d'uranium inactives et 10 sites désaffectés de résidus d'uranium à et autour d'Elliot Lake (certaines des mines ayant eu recours à d'autres usines de concentration et/ou zones d'évacuation des résidus). Les zones d'évacuation des résidus sont appelées zone de gestion des déchets par Rio Algom Ltd. et zones de gestion des résidus par Denison Mines Ltd.

La société Rio Algom Ltd. a la responsabilité de neuf mines : Quirke, Panel, Spanish American, Stanleigh, Lacnor, Nordic, Buckles, Pronto et Milliken. Pour sa part, la société Denison Mines Ltd. a la responsabilité de deux mines, Denison et Stanrock/Can-Met.

Le déclassement des installations d'extraction d'uranium de Stanleigh, Quirke et Panel (par Rio Algom Ltd.) et de Stanrock/Can-Met et Denison (par Denison Mines Ltd.) était pour l'essentiel achevé vers la fin de 1999. Le déclassement des sites est régi par le *Règlement sur les mines et les usines de concentration d'uranium* pris en vertu de la *Loi sur la sûreté et la réglementation nucléaires*. Les cinq sites qui leur sont associés font tous l'objet de permis de déclassement d'installation minière délivrés par la CCSN. Les importants travaux de déclassement et de réaménagement des sites ont en majeure partie, sinon en totalité été achevés sur tous ces sites. Les zones de gestion des déchets et/ou des résidus ont été stabilisées et confinées et pour la plupart noyées. Les résidus se trouvant dans la zone de gestion des résidus de Stanrock ont été maintenus saturés d'eau afin de réduire la production d'acide, mais ils se trouvent sous couverture sèche. Ces zones continueront de faire l'objet d'une surveillance temporaire et d'une gestion active jusqu'à ce que les effluents soient conformes aux critères de rejet sans traitement. Un suivi à long terme par une méthode de maintenance et de surveillance viendra ensuite. Les sociétés prévoient que les rejets se stabiliseront dans les zones de gestion des déchets et/ou des résidus et que l'on pourra mettre fin aux mesures de traitement dans cinq ans, alors qu'il est prévu qu'un traitement sera nécessaire dans la zone de gestion des résidus de Stanrock pendant au moins 50 ans.

À la fin de 1999, Denison Mines et Rio Algom avaient dépensé plus de 75 millions de CAD et pour le déclassement des sites de Quirke, Panel, Stanleigh, Denison et Stanrock/Can-Met. Alors que l'essentiel des travaux de rémediation est achevé, le coût total de déclassement sur l'ensemble de ces sites étaient estimés par les deux compagnies à moins d'un million de CAD.

Des assurances ou des garanties financières sont en place pour tous ces sites. Les coûts du déclassement du site de Stanleigh ont été payés par la compagnie d'électricité Ontario Power Generation (précédemment Ontario Hydro). Une lettre de crédit de 9,2 millions de CAD a été déposée par Rio Algom Ltd. pour couvrir la période transitoire and les frais de surveillance et d'entretien à long terme. Un fonds de remise en état, renfermant actuellement environ 3 millions de CAD, a été établi pour les sites de Denison Mines. Un capital suffisant pour faire face à six ans d'exploitation, d'entretien et de surveillance doit être conservé dans ce fond.

Les six autres installations minières de la société Rio Algom (Spanish American, Lacnor, Nordic, Buckles, Pronto et Milliken) ont été réhabilitées environ 30 ans avant la mise en place du cadre légal actuellement en vigueur pour la fermeture et le déclassement des mines. Comme ces sites renferment des substances nucléaires, Rio Algom a entrepris en 1995 les démarches nécessaires pour obtenir une autorisation de la CCNS afin d'être en conformité avec les obligations réglementaires relatives au contrôle des matières radioactives. À l'appui de sa demande d'un permis de substances réglementées pour ces sites, Rio Algom a récemment soumis un rapport d'évaluation environnementale et le permis devrait être obtenu en 2001.



Entre 1992 et 1997, Rio Algom a réaménagé ces installations pour se conformer aux exigences actuelles. Le réaménagement a été achevé sur tous les sites sauf Pronto où la remise en végétation des aires de gestion des déchets se poursuit. La zone de gestion des déchets de Spanish American est noyée alors que les résidus de Nordic et Pronto se trouvent dans des zones de gestion des déchets sèches et végétalisées et que les résidus de Lacnor sont partiellement noyés. Des garanties financières pour la surveillance et l'entretien de ces sites seront nécessaires pour le permis de substances réglementées soit accordé à la société Rio Algom.

Tous les sites de résidus de la région d'Elliot Lake comportent des stations de traitement des effluents qui utilisent généralement du chlorure de baryum et de la chaux pour éliminer le radium et neutraliser le pH. Les rejets dans l'environnement sont surveillés sur une base permanente et sont conformes aux objectifs en matière de qualité de l'eau fixés par la Province de l'Ontario [*Water Management : Policies, Guidelines and Provincial Water Quality Objectives*].

Les sociétés Rio Algom et Denison mènent aussi un Programme de surveillance du bassin hydrographique de la Serpent River afin d'évaluer les incidences environnementales pour l'ensemble du bassin qui englobe la majorité des résidus de la région d'Elliot Lake. Ce programme comporte une surveillance périodique tous les cinq ans du contexte et du milieu récepteur de même que des études du biote dans le bassin et dans l'environnement aménagé des résidus. Les travaux sur le terrain en vue de la première des évaluations quinquennales du biote a été achevée à l'automne de 1999 et un rapport était prévu en 2000. La surveillance de la qualité de l'eau est permanente.

La mine d'Agnew Lake, près d'Espanola, Ontario, a cessé d'être exploitée en 1983. Le site a été déclassé et surveillé par la société Kerr Addison mines de 1983 à 1988. Le site a été restitué à la province de l'Ontario au début des années 90.

### *Région de Bancroft*

Il existe également des sites désaffectés de stockage des résidus d'uranium dans la région de Bancroft, Ontario, près des mines de Madawaska/Faraday, Dyno et Bicroft. La mine de Madawaska est inexploitée depuis 1983, alors que les activités sur les sites de Dyno et de Bicroft ont cessé au début des années 60. La société AEC West Ltd. a réalisé les travaux de déclassement sur les sites miniers de Madawaska et de Dyno, alors que la société Barrick Properties s'est chargée de ceux de la mine de Bicroft.

Le site de Madawaska fait l'objet d'un permis de déclassement délivré par la CCSN. Ce site a été déclassé et est géré et surveillé par la société AEC West. Les sites de Dyno et de Bicroft ne disposent pas de permis de la CCSN. Les rejets d'effluents à partir des zones renfermant des résidus sur les trois sites de la région de Bancroft sont conformes aux objectifs en matière de qualité de l'eau de la Province de l'Ontario et ne font l'objet d'aucun traitement de l'eau. Aucune garantie financière n'est établie pour les trois mines de la région de Bancroft.

En janvier 1996, le Gouvernement du Canada et celui de l'Ontario ont signé un accord sur les responsabilités financières et de gestion à long terme des résidus abandonnés de mines et usines de concentration d'uranium dans l'Ontario. Actuellement il n'y a pas de mine d'uranium abandonnée dans l'Ontario. Cet accord est une mesure de précaution dans l'éventualité où un propriétaire responsable du déclassement s'avérerait incapable de faire face au financement de dette opération. Un accord similaire est envisagé entre le Gouvernement du Canada et celui de la Saskatchewan.

### *Activités de réaménagement en cours et futures*

En ce qui concerne les sites de Lorado et de Gunnar dans la Saskatchewan septentrionale, le Gouvernement de la Province collabore avec le gouvernement fédéral par l'entremise de Ressources naturelles Canada (RNCan) afin de faciliter le déclassement de ces deux sites. Certains travaux de déclassement ont été exécutés sur le site de Lorado au début des années 90, alors que le site de Gunnar n'a guère, voire pas, fait l'objet de tels travaux. Des plans d'activité préliminaires et des estimations des coûts ont récemment été élaborés.

Le gouvernement fédéral s'est engagé dans un processus d'accord avec la tribu des Dénés de Deline (peuple aborigène local) en vue d'examiner et d'arrêter les mesures à prendre pour faire face aux préoccupations de la communauté de Deline concernant le site de la mine de Port Radium dans les Territoires du Nord-Ouest. Ce processus a fait l'objet d'une annonce officielle le 20 janvier 2000. Un groupe de discussion dénommé « table Canada-Deline sur l'uranium » a été mis sur pied. Ce groupe élabore actuellement un plan d'action qui recommandera les études et les recherches adéquates.

Certains travaux de déclassement et de réaménagement ont été réalisés sur le site de Rayrock dans les Territoires du Nord-Ouest en 1996. Les travaux de déclassement ont notamment consisté à recouvrir les résidus et à sceller les ouvertures de mines. La surveillance du comportement du site de Rayrock a débuté en 1998. Il incombe au gouvernement fédéral de déclasser et de surveiller ce site par l'intermédiaire du Ministère des Affaires indiennes et du Nord Canada.

Les cinq sites actuellement en exploitation dans la Saskatchewan nécessiteront tous un déclassement et un réaménagement. Pour tous ces sites, il existe des plans théoriques ou détaillés de déclassement et des garanties financières sous forme de lettres de crédit des propriétaires des sites sont en place.

Le premier de ces sites susceptibles de faire l'objet d'un déclassement complet est celui de Cluff Lake où il est prévu de cesser les opérations d'exploitation d'ici à la fin de l'an 2002. La société Cogéma Resources Inc. a soumis un plan de déclassement détaillé du site de Cluff Lake en juin 1999 et sera tenue d'exécuter une évaluation environnementale (appelée Étude approfondie) du déclassement proposé en vertu de la Loi canadienne sur l'évaluation environnementale. L'organisme de réglementation (CCSN) a défini la portée de l'étude requise en octobre 1999.

Sur la plupart de ces sites, la remise en état en vue du déclassement final est un processus continu à mesure qu'il est procédé au réaménagement des installations ou des zones qui ne sont plus utilisées. Par exemple, des travaux de recherche et des activités en matière de déclassement sont menés dans des zones désaffectées de gestion des résidus, sur des tas de stériles et dans des puits épuisés sur les sites en exploitation de Key Lake et de Rabbit Lake.

Les projets de Midwest et de Cigar Lake où il est prévu d'entreprendre des opérations de production dans la Saskatchewan, devront aussi faire l'objet d'un déclassement. Des essais ont été menés sur les deux sites et la production devrait démarrer en 2003 à Midwest et en 2005 à Cigar Lake. Les plans conceptuels de déclassement ont été élaborés pour les deux sites dans le cadre des évaluations environnementales avant mise en service.

## Installations faisant l'objet de plans en cours ou futurs visant les activités de réaménagement

### Gunnar

<b>Caractérisation du site</b>	Nom	Mine de Gunnar. Région de Beaverlodge, Province de la Saskatchewan. Exploitée par Gunnar Mines Ltd.
	Historique	Début de la production en 1955. Fermeture en 1964. Le site n'a jamais fait l'objet d'un permis de la CCSN.
	Type d'activité	Ancienne mine et usine de concentration.
	État actuel	Inactif ; le site n'a pas été déclassé. Le site ne fait pas l'objet d'un permis de la CCSN. Le gouvernement fédéral et le gouvernement de la Saskatchewan étudient actuellement le déclassé et le réaménagement du site.
<b>Contamination</b>	Radiologique	Les études exécutées par Environnement Canada au cours des années 80 indiquent des teneurs élevées en radionucléides dans les poissons locaux, les eaux de surface et les sédiments. Les eaux de surface dans la Baie Langley excèdent les objectifs en matière de qualité de l'eau fixés par la Saskatchewan pour le <sup>226</sup> Ra.
<b>Surveillance de l'environnement</b>	Permanente	Aucune.
	À long terme	À déterminer.
<b>Haldes de stérile</b>	Stériles Déchets spéciaux Minerai	Non identifiées.
<b>Résidus – Dépôts en surface</b>	Description	Résidus déposés entre approximativement 1955 et 1964. Rupture du bassin de décantation des résidus en 1960, avec rejet de résidus dans le Lac Athabasca et formation d'un delta de résidu à la Baie Langley. Environnement Canada a mené au début des années 80 quelques études de remise en végétation.
	Importance (volume, superficie)	Approximativement 4,4 millions de tonnes.
	Traitement de l'eau	Aucun.
<b>Coûts de réaménagement</b>	À ce jour	0 CAD.
	Futurs	Inconnus.
	Garanties/ Caution	Aucune.
	Analyse coût-bénéfice	Pas achevée.

**Lorado**

<b>Caractérisation du site</b>	Nom	Mine de Lorado. Région de Beaverlodge, Province de la Saskatchewan. Exploitée par Lorado Uranium Mines Ltd.
	Historique	Début de la production en 1957. Fermeture en 1960. Le site n'a jamais fait l'objet d'un permis de la CCSN. Le site a été partiellement déclassé par Conwest au début des années 90, avec notamment le démantèlement de l'usine de traitement et le nivellement du site. Réaménagement d'une partie des résidus se trouvant sur des terrains privés. Les dépenses se sont élevées à environ 1 million de CAD. Le gouvernement de la Saskatchewan a approuvé les travaux de déclassé.
	Type d'activités	Ancienne mine et usine de concentration.
	État actuel	Le site ne fait pas l'objet d'un permis de la CCSN. Le gouvernement de la Saskatchewan et le gouvernement fédéral étudient actuellement les travaux supplémentaires de déclassé et de réaménagement nécessaires pour ce site.
<b>Contamination</b>		Les études effectuées par Environnement Canada à la fin des années 70 et au début des années 80 ont montré un faible pH et des niveaux élevés de <sup>226</sup> Ra dans un petit étang local dénommé Lac Nero. La teneur en <sup>226</sup> Ra excède les objectifs en matière de qualité de l'eau fixés par la Saskatchewan.
<b>Surveillance de l'environnement</b>	Permanente	Aucune.
	À long terme	À déterminer.
<b>Haldes de stériles</b>	Stériles	Non identifiées.
	Déchets spéciaux Minerai	
<b>Résidus – Dépôts en surface</b>	Description	Résidus déposés approximativement de 1957 à 1960. Une partie des résidus se trouvant sur des terrains publics exige encore certains travaux de réaménagement.
	Importance (volume, superficie)	Approximativement 360 000 tonnes.
	Traitement de l'eau	Aucun.
<b>Coûts de réaménagement</b>	À ce jour	1 000 000 CAD.
	Futurs	Inconnus.
	Garanties/ Caution	Aucune.
	Analyse coût-bénéfice	Pas achevée.

## Port Radium

<b>Caractérisation du site</b>	Nom	Port Radium. Grand Lac de l'Ours, Territoires du Nord-Ouest. Exploité par la société Eldorado Mining and Refining Ltd. (pour l'uranium) et la société Echo Bay Mines Ltd. (pour l'argent).
	Historique	Découverte en 1930. Extraction du radium de 1933 à 1940. Extraction de l'uranium à partir de 1942, traitement sur place de l'uranium de 1952 à 1960, date à laquelle le minerai a été épuisé. Des activités d'extraction et de traitement de l'argent ont aussi été menées sur place de 1964 à 1982.
	Type d'activité	Ancienne mine et usine de concentration. Gisement de pechblende.
	État actuel	Inactif. Réaménagement de certaines zones de résidus exécuté par la société Echo Bay Mines après la fermeture en 1982. Pas de propriétaire, considéré comme un site abandonné. Le site ne fait pas l'objet d'un permis de la CCSN. Le gouvernement fédéral, par l'intermédiaire du Ministère des Affaires indiennes et du Nord Canada est la principale instance procédant actuellement à un examen des besoins de ce site. Un processus conjoint fédéral-local a été annoncé le 20 janvier 2000 pour élaborer un plan, étudier le site et recommander des mesures appropriées.
<b>Contamination</b>		Des évaluations des zones de résidus et des eaux avoisinantes n'ont pas détecté de problèmes environnementaux notables.
<b>Surveillance de l'environnement</b>	Permanente	À déterminer.
	À long terme	À déterminer et sera exécutée dans le cadre des futurs travaux de déclassement.
<b>Haldes de stériles</b>	Stériles	Oui.
	Déchets spéciaux	Non identifiés.
	Minerai	Non.
<b>Résidus – Dépôts en surface</b>	Description	Résidus d'uranium déposés approximativement de 1952 à 1960. Résidus d'uranium se trouvant dans quatre zones, notamment de petits bassins lacustres. Certains résidus ont également été déposés dans les eaux plus profondes du Grand Lac de l'Ours. Résidus d'argent déposés de 1964 à 1982.
	Importance (volume, superficie)	Approximativement 907 000 tonnes de résidus d'uranium et environ 500 000 tonnes de résidus d'argent.
	Traitement de l'eau	Entre 1975 et 1982, l'eau provenant des résidus et les eaux d'exhaure ont été traitées à l'aide de chlorure de baryum et de sulfate ferrique afin de précipiter respectivement le radium et l'arsenic. L'eau a ensuite été rejetée dans le bassin d'effluents.

## Rayrock

<b>Caractérisation du site</b>	Nom	Mine de Rayrock. Marian River/Sherman Lake, Territoires du Nord-Ouest. Exploité par la société Rayrock Mines Ltd.
	Historique	Activités d'extraction et de traitement du minerai d'uranium menées de 1957 à 1959.
	Type d'activité	Ancienne mine et usine de concentration.
	État actuel	Le site fait l'objet d'un permis de substances réglementées délivré par la CCSN en vue des activités de déclassement. Le Département des Affaires indiennes et du Nord Canada est l'organisme responsable qui procède actuellement à un examen des travaux supplémentaires de déclassement et de réaménagement nécessaires pour ce site.
<b>Contamination</b>	Radiologique	Les eaux directement en contact avec des résidus présentent des niveaux élevés de $^{226}\text{Ra}$ et de cuivre. Les teneurs en $^{226}\text{Ra}$ et $^{210}\text{Pb}$ sont élevées par rapport à d'autres zones désaffectées ou abandonnées de résidus d'uranium existant au Canada. On a relevé des concentrations de $^{226}\text{Ra}$ comprises entre 350 et 3 300 pCi/g, celles de $^{210}\text{Pb}$ étant comprises entre 350 et 3 000 pCi/g.
	Chimique	
<b>Surveillance de l'environnement</b>	Permanente	Le Ministère des Affaires indiennes et du Nord Canada a entrepris de surveiller ce site en 1998. Il a été procédé au contrôle radiologique et à l'analyse des voies de transfert critiques.
	À long terme	Le plan définitif de surveillance doit être approuvé par la CCSN.
<b>Haldes de stériles</b>	Stériles Déchets spéciaux Minerai	Non identifiées.
<b>Résidus – Dépôts en surface</b>	Description	Résidus déposés approximativement de 1957 à 1959.
	Importance (volume, superficie)	Approximativement 71 000 tonnes. Situées dans deux tas au sud du site de la mine. Les tas couvrent des zones d'une superficie de 6 et 8 ha.
	Traitement de l'eau	Aucun. Les résidus produisent une faible acidité, mais le pH dans les petit plans d'eau au contact des résidus n'a pas été affecté.
<b>Coûts de réaménagement</b>	À ce jour	2,5 millions de CAD à ce jour, 100 000 CAD pour la surveillance à ce jour.
	Futurs	Les estimations initiales relatives aux travaux annuels de maintenance, en ce qui concerne les opérations pluri-annuelles de surveillances, s'élèvent à 60 000 CAD par opération.
	Garanties/ Caution	Aucune.
	Analyse coût-bénéfice	Pas achevée.

## Cluff Lake

<b>Caractérisation du site</b>	Nom	Établissement de Cluff Lake. Province de la Saskatchewan. Propriétaire et exploitant : Cogéma Resources Inc.
	Historique	Gisements découverts en 1969 et prospectés jusqu'en 1986. Démarrage de l'exploitation au début de 1980, la production ayant atteint environ 22 700 tonnes de concentré (U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ) en août 1999. Le projet comprend quatre mines à ciel ouvert épuisées et deux mines souterraines en exploitation.
	Type d'activité État actuel	Mines à ciel ouvert et souterraines et usine de concentration. Autorisation pour 2 020 tonnes/an d'uranium. La production en 1998 s'est élevée à 1 040 t d'U. Le site fait l'objet d'un permis d'exploitation d'installation minière délivré par la CCSN. L'exploitation porte actuellement sur deux corps minéralisés souterrains. La Cogéma a annoncé en août 1998 qu'elle suspendra pour une durée indéterminée l'exploitation d'ici à la fin de 2000. Elle a soumis un plan détaillé de déclassement à la CCSN en juin 1999. Ce plan fait actuellement l'objet d'une évaluation environnementale suivie. La Cogéma soumettra un rapport d'évaluation environnementale (dénommé rapport d'Etude approfondie) conformément à la Loi canadienne sur l'évaluation environnementale. Un document définissant la portée du projet et de l'évaluation a été établi par la CCSN en octobre 1999.
<b>Contamination</b>	Radiologique	La surveillance dosimétrique des lieux de travail et des personnels donne des résultats conformes aux valeurs acceptables.
	Chimique	
<b>Surveillance de l'environnement</b>	Permanente	Une surveillance à des fins de radioprotection, comportant des mesures du rayonnement gamma et des produits de filiation du radon, est assurée dans les zones de travail sur l'ensemble du site. Il est aussi procédé à la surveillance dosimétrique du personnel. La surveillance de la qualité de l'eau dans les rejets de la station d'épuration et les sites d'eaux de surface porte sur les paramètres généraux, les radionucléides et les métaux.
	À long terme	La surveillance après la fermeture se poursuivrait jusqu'à ce qu'elle ne soit plus exigée par les organismes de réglementation. Cette surveillance inclurait d'éventuels systèmes de traitement de l'eau, les eaux de surface et l'évaluation de la remise en végétation. Un important programme de surveillance après fermeture visant les eaux de surface, l'eau souterraine, les sédiments, les poissons et l'air est présenté dans le plan de déclassement.

**Cluff Lake (suite)**

<b>Haldes de stériles</b>	Stériles	Les stériles provenant des mines souterraines et à ciel ouvert sont stockés en surface. À l'appui des plans de déclassement, un projet de recherches sur les stériles est actuellement mené sur le tas de stériles provenant du gîte Claude. On procède depuis 1997 au transport et à l'évacuation dans la mine Claude noyée du tas de stériles provenant des mines OP/DP, et des déchets industriels enfouis dans les déchets des mines OP/DP. Les tas de stériles des gîtes Claude et DJN recevront des couvertures artificielles.
	Déchets spéciaux	Des déchets spéciaux minéralisés (ayant une teneur en U de 0,03 à 0,10 % U ou producteur d'acide) sont aussi évacués dans le puits Claude.
	Minerai	Transporté de la mine vers l'usine de concentration.
<b>Résidus – Dépôts en surface</b>	Description	Entre 1980 et 1983 les résidus ont été placés dans un dispositif de confinement temporaire doté d'un revêtement près de l'usine de traitement. Ces résidus ont été retraités et déposés en surface dans la zone de gestion des résidus située dans le sous-bassin de Mill Creek. La mise en place des résidus dans cette zone de gestion a débuté en mars 1983. Le déclassement comportera probablement la construction d'une couverture artificielle, le remblayage des bassins d'effluents et la démolition finale des stations d'épuration.
	Importance (volume, superficie)	La zone de gestion des résidus a une capacité de 2,67 millions de m <sup>3</sup> . A la fin de 1998, environ 2,3 millions de m <sup>3</sup> (2,7 millions de tonnes) avaient été déposés.
	Traitement de l'eau	Deux stations d'épuration desservant la zone de gestion des résidus, déversent leurs eaux dans des bassins de décantation avant de les rejeter dans l'environnement. Ces stations éliminent le radium et les matières en suspension et contrôlent le pH. Les eaux provenant des mines sont pompées vers l'usine de concentration pour utilisation puis envoyées dans la zone de gestion des résidus pour traitement.
<b>Coûts de réaménagement</b>	À ce jour	Inconnus.
	Futurs	Coûts de déclassement établis par la Cogéma en vue du plan détaillé de déclassement de 1999.
	Garanties/ Caution	Lettre de crédit irrévocable pour un montant de 33,6 millions de CAD.
	Analyse coût-bénéfice	Oui.



## Key Lake

<b>Caractérisation du site</b>	Nom	Etablissement de Key Lake. Province de la Saskatchewan. Exploité par la Corporation Cameco. Propriété : Cameco 83 %, Cogéma 17 %.
	Historique	L'exploitation du gîte Gaertner a débuté en 1982. L'exploitation à ciel ouvert du minerai à partir des gîtes Gaertner et Deilmann s'est achevée respectivement en 1987 et 1997. Le minerai a été traité sur place et les résidus ont d'abord été déposés en surface dans la zone de gestion des résidus, puis dans la mine à ciel ouvert de Deilmann.
	Type d'activité État actuel	Mine à ciel ouvert et usine de concentration. Permis pour 5 700 tonnes/an d'uranium. La production en 1998 s'est élevée à 5 400 t d'U. L'exploitation est suspendue. Le traitement des stocks de minerai provenant du gîte Deilmann se poursuit. Le minerai provenant de la mine de McArthur River sera traité à Key Lake à partir de décembre 1999. Le minerai à forte teneur de McArthur River sera mélangé au minerai à teneur plus faible de Key Lake. Il est prévu de poursuivre le traitement du minerai de McArthur River jusqu'en 2025. Le site fait l'objet d'un permis d'exploitation d'installation minière délivré par la CCSN.
<b>Contamination</b>	Radiologique	La surveillance des produits de filiation du radon et du rayonnement gamma sur les lieux de travail indique des niveaux acceptables. La dosimétrie individuelle pour le rayonnement gamma est également acceptable. Les radionucléides dans les eaux de surface sortant du site sont négligeables. Des dépassements occasionnels des niveaux des particules en suspension dans l'air sont relevés mais les concentrations de métaux et de radionucléides sont faibles.
	Chimique	La qualité des eaux de surface est conformes aux objectifs provinciaux, sauf pour le nickel.
<b>Surveillance de l'environnement</b>	En cours	La Cameco exerce une surveillance du milieu aquatique, de l'air et de l'environnement terrestre conformément aux directives formulées par les organismes fédéraux et provinciaux dans les permis d'exploitation du site. Les eaux de surface, les poissons et les sédiments des ruisseaux locaux sont touchés par les effluents de l'usine de concentration les eaux d'exhaure. Prélèvement d'échantillons d'air pour la recherche de métaux lourds, de radionucléides, de radon et de SO <sub>2</sub> . Surveillance systématique de la qualité de l'eau souterraine.
	À long terme	La surveillance après fermeture se poursuivra jusqu'à ce qu'elle ne soit plus exigée par les organismes de réglementation. Cette surveillance couvrira les éventuels systèmes d'épuration de l'eau, les eaux de surface et une évaluation de la remise en végétation.

**Key Lake (suite)**

<b>Haldes de stériles</b>	Stériles	Les tas de stériles (40 millions de m <sup>3</sup> ) seront déclassés <i>in situ</i> . Les stériles riches en nickel ont été placés dans la mine à ciel ouvert de Gaertner en 1998.
	Déchets spéciaux	Tas de déchets spéciaux provenant des gîtes Gaertner et Deilmann. La capacité de stockage de chacun d'eux est de 600 000 m <sup>3</sup> . Les déchets spéciaux seront mélangés au minerai de McArthur River. Une autorisation a aussi été accordée pour l'évacuation des stériles minéralisés provenant de la mine de McArthur River sur le site de Key Lake.
	Minerai	Le stock de minerai provenant du gîte Deilmann s'élevait à 501 000 tonnes (5 622 000 kg d'U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ) à la fin de 1998. Il sera mélangé au minerai de McArthur River.
<b>Résidus – Installation de gestion des résidus dans la mine à ciel ouvert</b>	Description	Les résidus ont été déposés dans la mine à ciel ouvert Deilmann transformée en installation de gestion des résidus en 1995/96. La mine comporte un milieu perméable afin de réduire au minimum le mélange de l'eau souterraine avec les résidus. La CCSN a donné son approbation en novembre 1999 pour que les résidus soient stockés sous eau. La mine doit faire l'objet d'un déclassé par recouvrement des résidus à l'aide d'une couche de sable et d'argile à blocs, et par noyage.
	Importance (volume, superficie)	Volume final estimé à 4,5 millions de m <sup>3</sup> , 12 ha ; renfermait 1,015 million de tonnes à la fin de 1998.
	Traitement de l'eau	La totalité de l'eau contaminée provenant du drainage est traitée par osmose inverse à la station d'épuration avant rejet.
<b>Résidus – Dépôt en surface</b>	Description	Opérationnel de 1983 à 1996. Parmi les options en matière de déclassé figure le transfert des résidus dans la mine à ciel ouvert de Deilmann ou le recouvrement et le déclassé <i>in situ</i> .
	Importance (volume, superficie)	3,8 millions de tonnes, 52 ha ; renfermait 3,586 millions de tonnes à la fin de 1998.
	Traitement de l'eau	La totalité de l'eau rejetée est pompée dans un réservoir pour réutilisation ou traitement avant évacuation.
<b>Coûts de réaménagement</b>	A ce jour	Inconnus.
	Futurs	45,6 millions de CAD sur la base du plan de déclassé actuel.
	Garanties/caution	Lettres de crédit irrévocables pour un montant de 45,6 millions de CAD déposées auprès du gouvernement de la Saskatchewan.
	Analyse coût-bénéfice	En cours d'établissement.

## Rabbit Lake

<b>Caractérisation du site</b>	Nom	Établissement de Rabbit Lake. Province de la Saskatchewan. Propriétaire et exploitant : Corporation Cameco.
	Historique	Découvert en 1968. Les travaux de construction et d'extraction ont débuté en 1972/74. Début des opérations de traitement en 1975. Acheté par Eldorado en 1982. L'exploitation des mines à ciel ouvert dénommées Rabbit Lake et Zones A, B et D a été achevée.
	Type d'activité	Mines à ciel ouvert et mine souterraine avec usine de concentration.
	État actuel	Permis pour 6 500 tonnes/an d'uranium. La production en 1998 a été de 4 500 t d'U. L'extraction à partir de la mine souterraine d'Eagle Point a été suspendue en mars 1999. Le traitement des stocks de minerai se poursuit à une cadence réduite. Des autorisations sont actuellement demandées pour traiter dans l'usine de Rabbit Lake 57 % du minerai provenant de la Phase 1 d'exploitation de la mine de Cigar Lake, ce qui permettrait de prolonger la durée de vie de l'usine d'une douzaine d'années. Le site fait l'objet d'un permis d'exploitation d'installation minière délivré par la CCSN.
<b>Contamination</b>	Radiologique/ Chimique	La surveillance des produits de filiation du radon et du rayonnement gamma sur les lieux de travail indique des niveaux acceptables. La dosimétrie individuelle pour le rayonnement gamma est également acceptable. Des activités de surveillance sont menées dans les installations de surface, l'usine de concentration et en souterrain. Les mines des Zones A, B et D ont été renoyées et la qualité de l'eau fait l'objet d'une surveillance en ce qui concerne les radionucléides et les métaux lourds. La qualité de l'eau dans les Zones A et D est en général conforme aux directives provinciales. La teneur en Ni et As de l'eau dans la mine de la Zone B dépasse les valeurs prescrites dans les directives provinciales.
		L'usine comporte une station d'épuration des effluents. L'eau est traité à l'aide d'acide, de chaux, de chlorure de baryum et de sulfate ferrique afin d'éliminer des contaminants tels que As, Ni et <sup>226</sup> Ra. L'eau passe aussi par deux bassins de décantation et des filtres à sable avant d'être rejetée.
<b>Surveillance de l'environnement</b>	Permanente	Des échantillons composites d'effluents traités sont prélevés chaque semaine. Surveillance systématique des eaux de surface et de l'eau souterraine dans les mines et sur le terrain portant sur les paramètres généraux, les radionucléides et les métaux lourds. Échantillonnage de l'air pour la recherche de métaux lourds, de radionucléides, de radon et de SO <sub>2</sub> .

**Rabbit Lake (suite)**

<b>Surveillance de l'environnement</b> (suite)	À long terme	La surveillance après fermeture se poursuivra jusqu'à ce qu'elle ne soit plus exigée par les organismes de réglementation. Cette surveillance couvrira les éventuels systèmes d'épuration de l'eau, les eaux de surface et une évaluation de la remise en végétation.
<b>Haldes de stériles</b>	Stériles	Les stériles se trouvent dans l'installation de déchets d'Eagle Point, l'aire de stockage des déchets de la Zone B et les aires de stockage situées à l'est, à l'ouest et au nord autour de la mine à ciel ouvert destinée à recevoir les résidus. À la fin de 1998, 1,073 million de tonnes de déchets avaient été produits. Les déchets provenant de l'installation de déchets et des aires de stockage situées autour de la mine seront utilisés pour remblayer la mine souterraine d'Eagle Point. Des stériles ont aussi été utilisés pour constituer un environnement perméable dans la mine à ciel ouvert destinés à recevoir les résidus
	Déchets spéciaux	Les déchets spéciaux minéralisés sont stockés sur l'aire des déchets spéciaux de la Zone B. 223 000 tonnes avaient été produit à la fin de 1998.
	Minerai	394 000 tonnes de minerai provenant des Zones A, B et D et de la Mine d'Eagle Point se trouvaient sur le site à la fin de 1998.
<b>Résidus – Installation de gestion des résidus dans la mine à ciel ouvert</b>	Description	La mine à ciel ouvert épuisée de Rabbit Lake comporte un environnement perméable. La mise en place des résidus a fait l'objet d'une démonstration de novembre 1984 à mars 1985. Exploitation en vraie grandeur à partir de novembre 1985. Doit recevoir des résidus issus du traitement du minerai de Cigar Lake. La mine doit être déclassée par recouvrement des résidus et noyage.
	Importance (volume, superficie)	Volume final estimé à 6,2 millions de m <sup>3</sup> , approximativement 20 ha ; renfermait 4,53 millions de tonnes à la fin de 1998.
	Traitement de l'eau	L'eau de drainage est renvoyée par pompage à l'usine de concentration pour réutilisation.
<b>Résidus – Dépôt en surface</b>	Description	Installation de gestion des résidus en surface. Les résidus y ont été déposés de 1975 à 1985. Le déclassement comportera la mise en place d'un remblai en surface et une consolidation. Le remblayage est programmé en 2001-2004 avec remodelage final et couverture après 2004.
	Importance (volume, superficie)	53 ha, renfermant 6,5 millions de tonnes à la fin de 1998.
	Traitement de l'eau	Les eaux d'infiltration envoyées à la station d'épuration se trouvant à l'usine.
<b>Coûts de réaménagement</b>	À ce jour	Déclassement et réaménagement continus des zone où l'exploitation a cessé. Plans annuel et cinquennal en place. Les coûts à ce jour ne sont pas connus.
	Futurs	Estimations de coûts élaborée par la Cameco en 1996.

**Rabbit Lake (suite)**

<b>Coûts de réaménagement</b> (suite)	Garanties/ Caution	Lettre de crédit irrévocable pour un montant de 29,5 millions de CAD. Sera probablement révisée dans les deux ans à venir.
	Analyse coût-bénéfice	En cours d'élaboration.

**McClellan Lake**

<b>Caractérisation du site</b>	Nom	Projet de McClellan Lake. Province de la Saskatchewan. Exploité par Cogéma Resources Inc. Propriété : 70 % Cogéma, 22,5 % Denison Mines Ltd., 7,5 % OURD (Canada) Co. Ltd.
	Historique	Découvert et prospecté de 1980 à 1990. L'extraction de stériles et de minerai à partir de la mine à ciel ouvert de JEB s'est achevée en juillet 1997. L'extraction de stériles à partir de la mine à ciel ouvert de Sue C a débuté en juillet 1997 et s'est achevée vers la fin de 1998. La construction de l'usine de concentration a été achevée en septembre 1997. Des problèmes de construction rencontrés en 1998 ont entraîné des retards dans la conversion de la mine à ciel ouvert de JEB en installation de gestion des résidus. La CCSN a délivré en juin 1999 un permis d'exploitation autorisant le fonctionnement de l'usine de concentration et de l'installation de gestion des résidus JEB et le traitement des stocks de minerai. Le traitement a démarré peu après. La CCSN a approuvé l'exploitation minière à ciel ouvert des gîtes Sue A, B et C en novembre 1999.
	Type d'activité	Mine à ciel ouvert et usine de concentration. Possibilité de mine en souterrain.
	État actuel	Permis pour 2 300 tonnes/an d'uranium. Démarrage en juin 1999 du traitement des stocks de minerai provenant de la mine à ciel ouvert de JEB. L'extraction de minerai à partir de la mine à ciel ouvert de Sue C a débuté en 1999. Les réserves de minerai provenant des mines à ciel ouvert de JEB et de Sue devraient permettre d'alimenter l'usine pendant cinq ans. Les gîtes de Sue renferment environ 12 000 tonnes d'uranium ayant une teneur moyenne de 2 %. Le corps minéralisé de McClellan Lake sera exploité pour finir par des méthodes souterraines. Il est prévu que le minerai provenant du Projet de Midwest Project et de Cigar Lake alimentera à l'avenir cette usine. Le site fait l'objet d'un permis d'exploitation d'installation minière. La durée de vie du Projet conjoint de McClellan Lake /Cigar Lake est de 40 ans.

**McClellan Lake (suite)**

<b>Contamination</b>	Radiologique/ Chimique	La surveillance des produits de filiation du radon et du rayonnement gamma sur les lieux de travail indique des niveaux acceptables. Cette surveillance s'exerce sur l'ensemble du site. La surveillance des eaux de puisard provenant des mines à ciel ouvert de JEB et de Sue C indique que ces eaux doivent être traitées avant rejet dans l'environnement.
	Permanente	La surveillance à des fins de radioprotection comporte des mesures du rayonnement gamma et des produits de filiation du radon exécutées sur les lieux de travail dans l'ensemble du site. Une surveillance dosimétrique du personnel est aussi exercée. Toutes les doses prévues sont inférieures à 60 % de la dose annuelle admissible de 20 mSv. Surveillance de la qualité de l'eau dans les puisards, les rejets des stations d'épuration et les sites d'eaux de surface portant sur les paramètres généraux, les radionucléides et les métaux.
	À long terme	La surveillance après fermeture se poursuivra jusqu'à ce qu'elle ne soit plus exigée par les organismes de réglementation. Cette surveillance couvrira les éventuels systèmes d'épuration de l'eau, les eaux de surface et une évaluation de la remise en végétation.
<b>Haldes de stériles</b>	Stériles	10 millions de tonnes de stériles ont été retirés de la mine à ciel ouvert JEB et stockés. Les tas de stériles feront l'objet d'un plan en courbes de niveau et seront recouverts. 24 millions de tonnes de stériles provenant de la mine à ciel ouvert de Sue C Pit doivent être stockés en surface, recouverts et remis en végétation (600 m x 1 000 m x 35 m de haut). Les stériles provenant des mines à ciel ouvert de Sue A et B (6,2 millions de tonnes) doivent être déposés dans la mine à ciel ouvert plus profonde de Sue C. Les stériles seront recouverts d'une couche de 2 m d'argile à blocs d'origine locale et noyés. Les trois mines à ciel ouvert seront noyées pour devenir des lacs.
	Déchets spéciaux	67 000 tonnes de déchets spéciaux minéralisés ont été retirés de la mine à ciel ouvert de JEB et stockés sur le site. Les déchets spéciaux minéralisés provenant des mines à ciel ouvert de JEB et de Sue A, B et C (208 000 tonnes) seront redéposés dans la mine épuisée de Sue C. On estime à 3,5 millions de m <sup>3</sup> le volume total des stériles et des déchets spéciaux à mettre en place dans la mine à ciel ouvert de Sue C.
	Minerai	206 000 tonnes de minerai ont été extraites de la mine à ciel ouvert de JEB. On estime à 578 000 tonnes le minerai à extraire des mines à ciel ouvert de Sue A, B et C. Le minerai est transféré en totalité à l'usine de JEB pour traitement.

**McClellan Lake (suite)**

<b>Résidus – Installation de gestion des résidus dans la mine à ciel ouvert</b>	Description	Tous les résidus doivent être déposés dans l'installation de gestion des résidus de JEB. Cette installation sera exploitée en tant que mine à ciel ouvert partiellement noyée avec dépôt des résidus sous eau. Cette installation n'aura pas besoin de comporter un milieu perméable. Lorsque la mise en place des résidus sera achevée, les résidus seront recouverts et la mine sera remblayée à l'aide de stériles et remise en végétation.
	Importance (volume, superficie)	4,7 millions de m <sup>3</sup> de matériaux ont été retirés afin d'obtenir la mine à ciel ouvert de JEB. Occupe environ 12 ha.
	Traitement de l'eau	Oui, toute l'eau du puisard de la mine à ciel ouvert de JEB est envoyée par pompage à la station d'épuration de JEB. L'eau des puisards des mines à ciel ouvert de Sue est envoyée par pompage à la station d'épuration de Sue. Les effluents traités provenant de ces deux stations et l'eau non contaminée provenant des puits de dénoyage de JEB sont transférés au Système de gestion des effluents traités des Lacs Sink/Vulture avant rejet dans les eaux de surface.
<b>Coûts de réaménagement</b>	À ce jour	Non disponible.
	Futurs	Estimations élaborées par la Cogéma et approuvées par la CCSN et par Saskatchewan Environment and Resource Management (SERM) sur la base du plan conceptuel de déclassement. Ce plan ne comprend pas des éléments non mis en valeur notamment les mines à ciel ouvert de Sue A et B, la mine souterraine de McClellan, le traitement futur du minerai de Midwest et de Cigar Lake dans l'usine de JEB. Le plan inclut une modélisation numérique en vue de prévoir le comportement des mines à ciel ouvert noyées.
	Garanties/ Caution	Lettres de crédit irrévocables pour un montant de 35 millions de CAD remises à la Province de la Saskatchewan.
	Analyse coût- benéficaire	Oui.

**McArthur River**

<b>Caractérisation du site</b>	Nom	Projet de McArthur River. Province de la Saskatchewan. Exploité par la Corporation Cameco. Propriété : 70 % Cameco, 30 % Cogéma.
	Historique	Découvert en 1988. Il s'agit de la plus grande mine d'uranium à forte teneur du monde. Le permis d'exploitation a été accordé en octobre 1999.
	Type d'activité	Mine et installation de traitement du minerai en souterrain.

**McArthur River (suite)**

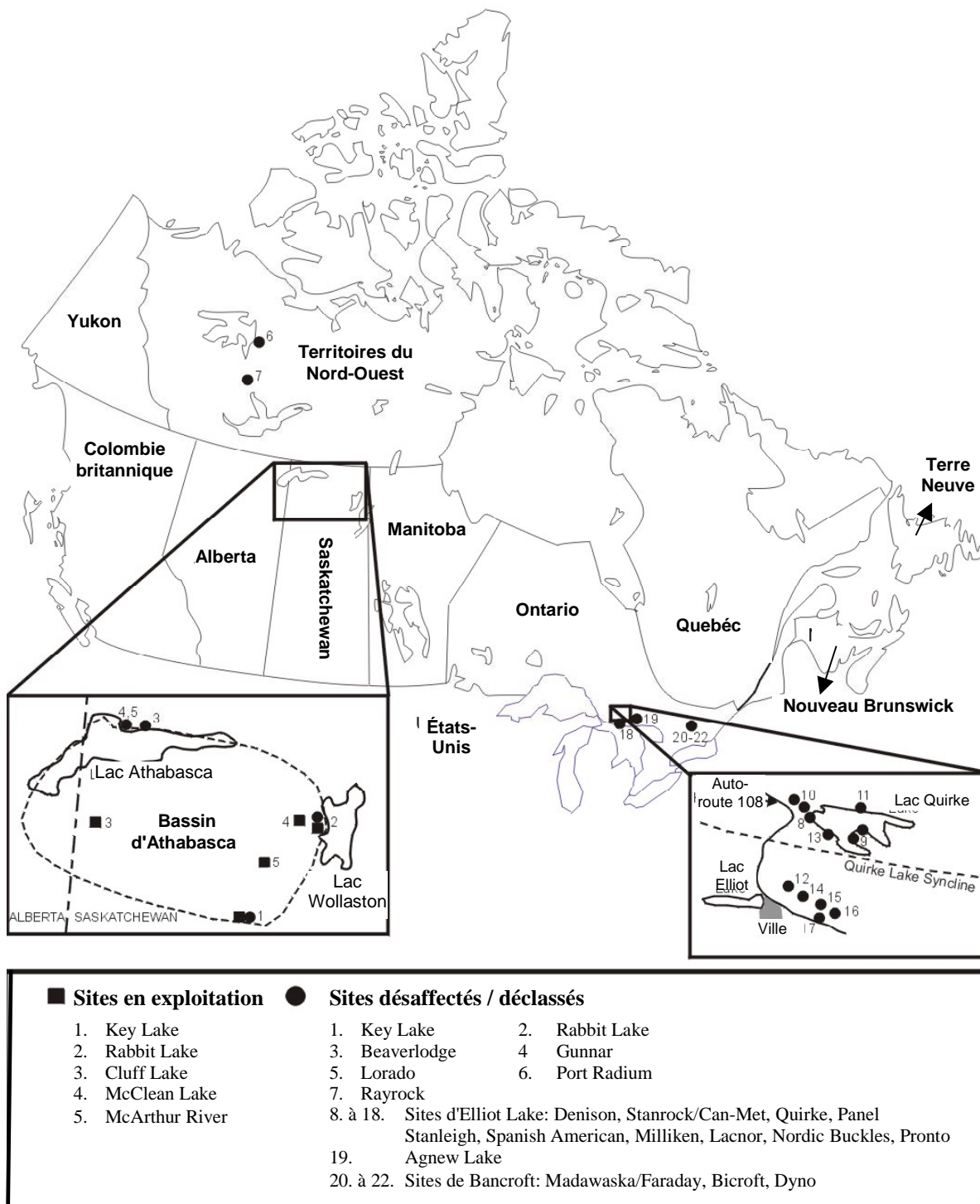
<b>Caractérisation du site</b> (suite)	État actuel	L'acheminement du minerai à l'usine de concentration de Key Lake pour traitement a débuté en décembre 1999. Permis pour la production de 7 200 tonnes d'uranium par an. Le site fait l'objet d'un permis d'exploitation d'installation minière délivré par la CCSN.
<b>Contamination</b>	Radiologique	Les doses d'irradiation délivrées au groupe critique le plus proche imputables à la fois aux émissions dans l'eau et dans l'air sont, d'après les prévisions, bien en dessous des limites admissibles. La principale préoccupation d'ordre radiologique concerne la maîtrise des produits de filiation du radon libérés à partir de l'eau souterraine aux cours des activités menées en souterrain. Des mesures de contrôle ont été élaborées.
	Chimique	Certains dépassements des teneurs en métaux et ammoniac dans l'eau et/ou les sédiments prévus dans des lacs proches du site. D'après les prévisions les effets en champ lointain doivent être négligeables.
<b>Surveillance de l'environnement</b>	Permanente	La surveillance à des fins de radioprotection comporte l'exécution de mesures du rayonnement gamma et des produits de filiation du radon sur les lieux de travail dans l'ensemble du site. Il est également procédé à une surveillance dosimétrique du personnel. Surveillance de la qualité de l'eau au niveau des rejets des stations d'épuration et des sites d'eaux de surface portant sur les paramètres généraux, les radionucléides et les métaux. Programme de surveillance atmosphérique et terrestre en place.
	À long terme	La surveillance après fermeture se poursuivra jusqu'à ce qu'elle ne soit plus exigée par les organismes de réglementation. Cette surveillance couvrira les éventuels systèmes d'épuration de l'eau, les eaux de surface et une évaluation de la remise en végétation.
<b>Haldes de stériles</b>	Stériles	Stériles déposés dans l'aire de stockage. 128 000 m <sup>3</sup> stockés à l'heure actuelle. Volume à stocker estimé à 900 000 m <sup>3</sup> . L'aménagement du site a nécessité environ 104 500 m <sup>3</sup> .
	Déchets spéciaux	Les déchets minéralisés (>0.3 % d'U) et les déchets producteurs d'acide sont placés sur des aires de stockage comportant un revêtement. Respectivement 25 000 m <sup>3</sup> et 74 000 m <sup>3</sup> avaient été stockés à la fin de 1998. Les déchets spéciaux minéralisés doivent être transférés à Key Lake pour évacuation.
	Minerai	Le minerai est extrait par forage montant. Les débris de minerai sont broyés et épaissis en souterrain. La pulpe de minerai est remontée à la surface par pompage, chargée dans des conteneurs et transportée à Key Lake pour traitement.



**McArthur River (suite)**

<b>Résidus – Dépôts en surface</b>	Description	Aucun traitement sur le site. Traitement à Key Lake, les résidus étant déposés dans l'installation de gestion des résidus de la mine à ciel ouvert de Deilmann.
	Importance (volume, superficie)	Non disponible.
	Traitement de l'eau	La totalité de l'eau contaminée provenant de l'exploitation souterraine, du dénoyage, du ruissellement de surface et des déchets minéralisés stockés est traitée dans les stations d'épuration primaire et secondaire. L'eau traitée est rejetée dans des bassins de surveillance puis relâchée dans le lac si elle est conforme aux limites de rejet d'effluents.
<b>Coûts de réaménagement</b>	À ce jour	Non connus.
	Futurs	Estimations de coûts élaborées par la Cameco à l'appui des lettres de crédit.
	Garanties/ Caution	Lettre de crédit irrévocable comportant une échelle mobile pour un montant de 8,6 millions de CAD à la valeur actuelle.
	Analyse coût-bénéfice	Pas connue.

Figure 1. Sites des mines et zones de résidus d'uranium au Canada



## • Égypte •

Le présent rapport a pour objet de présenter une description générale des méthodes les plus courantes qui ont été utilisées par le Service des matières nucléaires (SMN) d'Égypte dans ses programmes en vue d'évaluer l'exposition des personnes aux rayonnements. Ces programmes ont pour but de garantir le maintien de conditions de travail et d'environnement sûres et de démontrer le respect des normes nationales prescrites. Dans les programmes d'examen préalable, l'objectif immédiat est seulement de sélectionner les localités critiques où certaines doses ou normes de référence peuvent être dépassées, tandis que le programme d'études proprement dit vise explicitement à évaluer les doses le plus précisément possible à des fins de vérification de la conformité ou de recherche.

Le programme d'études s'intéresse, pour une large part, aux mines, installations de traitement et laboratoires qui constituent les trois principaux secteurs d'activités du SMN.

### **Mines d'uranium**

Les activités minières menées à des fins de prospection de l'uranium entraînent inévitablement la production de minerais et de déchets radioactifs. Dans ce contexte, les objectifs de la surveillance de l'environnement se concentrent souvent sur le contrôle radiologique et l'inspection environnementale traditionnelle. Les risques associés à l'air ambiant dans les mines souterraines dépendent de deux processus principaux : l'inhalation par le personnel concerné et l'effet des rayonnements sur ce dernier. La présence de radon et de ses produits de filiation, de même que les particules de roches radioactives en suspension dans l'air inhalé, présentent des dangers. En outre, dans les chantiers souterrains, les rayonnements dans la zone la plus fortement minéralisée pourraient entraîner une surexposition. Pour éliminer ces risques, on a procédé à une surveillance systématique de l'atmosphère et à des mesures de radioactivité dans les chantiers miniers d'exploration de Gabal Gattar.

### **Installations de traitement d'uranium**

Dans les installations de traitement de l'uranium, le  $^{222}\text{Rn}$  et ses produits de filiation ne présentent normalement qu'un faible risque d'inhalation, par rapport aux poussières de minerai et d'uranium, bien que des concentrations importantes de radon puissent se rencontrer près des trémies de minerai et des circuits de concassage et de broyage. Au cours du concassage et du tri, les radionucléides à vie longue en suspension dans l'air sont généralement dans des conditions d'équilibre, mais au cours des opérations ultérieures, cet équilibre est nécessairement perturbé et les concentrations des divers radionucléides doivent être mesurées pour évaluer tout danger potentiel. Après lixiviation du minerai concassé, la plupart des radionucléides, sauf l'uranium, demeurent à l'intérieur de la pulpe humide qui, après filtration, fait l'objet d'un traitement comme résidu. L'uranium en suspension dans l'air est donc prédominant tout au long de la filtration et des rayonnements bêta et gamma externes sont aussi présents à des niveaux qui dépendent de la teneur du minerai, du type et de la teneur du concentré, ainsi que du type de procédé utilisé. On présume que l'uranium en suspension dans l'air est surtout

présent dans les derniers stades de la précipitation, de la filtration, du conditionnement et de l'entreposage du concentré.

## **Laboratoires**

Les rayonnements bêta et gamma externes sont les principales sources de radioactivité dans les laboratoires. Dans certains cas, il existe également des concentrations mesurables de radon.

**Mesures du radon :** On a utilisé un moniteur portatif de gaz radioactifs RGM 1/L qui est sensible aux particules alpha émises par le radon. L'unité utilisée est le picocurie par litre (pCi/l) ou le microcurie par mètre cube ( $\mu\text{Ci}/\text{m}^3$ ). La concentration maximale admissible est de  $0,03 \mu\text{Ci}/\text{m}^3$ .

**Concentration de produits de filiation du radon :** On a utilisé un compteur alpha portatif Tri Met (TM372-A) équipé d'une pompe appropriée. Il possède un sélecteur de temps et comporte un affichage numérique. Le détecteur est un scintillateur de type ZnS (Ag). L'instrument a été étalonné à l'aide d'une source constituée par un produit de filiation du radon ( $^{214}\text{Po}$ ) et vérifié avant utilisation avec une source standard de rayonnement alpha ( $^{241}\text{Am}$ ).

Les produits de filiation du radon sont mesurés à l'aide de la méthode d'échantillonnage par grappillage de Kuznetz (AIEA, S.S.43). La concentration maximale admissible de produits de filiation du radon est de 0,3 par niveau opérationnel n.

Le niveau opérationnel est défini comme étant une unité de concentration d'énergie potentielle alpha (c'est-à-dire somme de l'énergie totale par unité de volume d'air transportée par les particules alpha émises dans un volume d'air unitaire) résultant de la présence de produits de filiation à vie courte du radon (RaA, RaB, RaC et RaD) en quantité égale à l'émission de  $1,3 \times 10^5$  MeV d'énergie alpha par litre d'air.

Le niveau opérationnel-mois (nm) est une unité d'exposition, qui est exprimée comme étant le produit de n par la durée d'exposition, normalisée sur un mois, autrement dit, 170 heures, soit  $1 \text{ nm} = 170 \text{ nh}$ .

**Surveillance des rayonnements gamma externes :** On a utilisé un radiomètre portatif, tel qu'un compteur Geiger de type Berthold LB-1200. Cet appareil donne des lectures directes des débits de doses exprimés en millirem par heure. L'instrument a été étalonné en utilisant une source de rayonnement gamma de  $^{137}\text{Cs}$ . La valeur maximale admissible du débit de dose est fixée par définition à 2 mrem/h, soit  $20 \mu\text{Sv}/\text{h}$  ou encore 4 rem/a.

## **Résultats et discussion**

### *Mines*

La surveillance de l'environnement des chantiers miniers d'exploration de Gattar-I et de Gattar-II est achevée. Elle a été exercée au cours de la phase initiale des activités des chantiers de Gattar-1, en janvier 1990 [1]. Les résultats sont en deçà des limites admises, sauf dans un cas où la concentration des produits de filiation atteignait 0,43 n. Les rayonnements gamma externes étaient compris entre 0,08 et 1,6 mrem/h, soit en dessous de la valeur admissible de 2 mrem/h. L'équivalent de dose efficace annuel a varié entre 8,652 et 85,764 mSv.

Le niveau opérationnel-heure correspond à l'équivalent d'une exposition de 1 niveau opérationnel de produits de filiation du radon par heure. Le débit d'exposition maximal est de 0,3 n alors que l'exposition annuelle maximale est de 4,7 nm par an et l'exposition maximale pendant toute la durée de vie est de 120 nm.

Les résultats de la surveillance radiologique dans les chantiers miniers d'exploration de Gattar-I pendant quelques mois en 1990 et 1991 ont été analysés. Les rayonnements gamma externes ont été compris entre 0,06 et 0,2 mrem/h, ce qui est inférieur à la valeur admissible (2 mrem/h). La concentration de radon était comprise entre 0,0008 et 0,02  $\mu\text{Ci}/\text{m}^3$ , ce qui est aussi inférieur à la valeur admissible (0,03  $\mu\text{Ci}/\text{m}^3$ ). La concentration moyenne des produits de filiation du radon était de 0,025 n. On a également constaté que la concentration de radon est inversement proportionnelle à la quantité d'air. Dans le cas de l'échantillon N 17, par exemple, l'activité qui a atteint 0,2 mrem/h, est plutôt élevée, mais cela s'explique par le fait que le site comporte une minéralisation uranifère secondaire. Toutefois, lorsque l'on intensifie l'aéragé sur ce site, la concentration de radon s'établit à 0,0008, soit une valeur très faible. On a estimé que la valeur moyenne de l'équivalent de dose efficace annuel dans les chantiers miniers d'exploration de Gattar-I était de 2,155 mSv. Cette valeur est inférieure à la limite admise (50 mSv), ce qui dénote un excellent aéragé sur ce site.

Les résultats de la surveillance radiologique sur les chantiers miniers d'exploration de Gattar-II ont aussi été examinés. Les rayonnements gamma externes étaient de l'ordre de 0,08 dans le puits vertical, où les valeurs sont inférieures à la limite admise de 2 mrem/h. Dans la galerie orientale débouchant au jour, la valeur relevée des rayonnements gamma externes a atteint 0,6 mrem/h, ce qui est plus élevé, mais toujours inférieur à la limite admise. Cette augmentation est imputable à la présence d'une zone de cisaillement uranifère de 1,4 m d'épaisseur comportant une minéralisation uranifère secondaire.

La concentration de radon dans le puits vertical peut atteindre 0,05  $\mu\text{Ci}/\text{m}^3$ ; elle atteint cependant 0,7  $\mu\text{Ci}/\text{m}^3$  dans la galerie orientale débouchant au jour, ce qui est supérieur à la limite admise (0,03  $\mu\text{Ci}/\text{m}^3$ ). La concentration de produits de filiation du radon augmente à mesure que l'on descend dans le puits vertical. À l'entrée, elle est de 0,006 n, mais atteint 1,6 n à 39 m de profondeur. Dans la galerie orientale débouchant au jour, elle atteint 1,7 n, ce qui est supérieur à la valeur admise (0,3 n). Le même phénomène a été observé dans les valeurs estimées de l'équivalent de dose efficace annuel qui dépassaient la limite admise tant dans le puits vertical que dans la galerie orientale débouchant au jour. Les valeurs sont fondées sur des mesures exécutées en l'absence de ventilation dans le puits vertical ou les galeries débouchant au jour des chantiers miniers d'exploration de Gattar-II. Un système d'aéragé approprié a été établi pour ce projet afin d'abaisser l'équivalent de dose efficace annuel en dessous de la limite admise de 50 mSv. La ventilation naturelle peut être utile sur ce site, mais elle est assez difficile et coûteuse en raison de la topographie accidentée du Gabal Gattar.

### *Installations de traitement et laboratoires*

Les tableaux 1 et 2 indiquent les résultats moyens des essais effectués concernant certains laboratoires et installations de traitement en 1996. Dans le cas des laboratoires, on n'a décelé aucune accumulation de radon et de ses produits de filiation à vie courte à cause de la bonne ventilation et de la manipulation correcte du minerai. Une exception a été signalée au Laboratoire N°3 où un débit de dose élevé a été décelé et où certains dépôts radioactifs ont été relevés sur les bancs. Dans les installations de traitement, aucune valeur élevée n'a été observée en raison également d'une bonne ventilation.

Tableau 1. Résultats moyens des mesures dans les laboratoires

Type de laboratoire	Niveau opérationnel (Kuznetz)	Débit de dose gamma ( $\mu\text{Sv/h}$ )	Concentration de radon ( $\mu\text{Ci/m}^3$ )
Extraction	0,2	26	0,02
Isotopes géologiques	0,005	1,7	0,003
Contrôle de production	0,004	44	0,006

Tableau 2. Résultats moyens des mesures dans les installations de traitements

	Niveau opérationnel (Kuznetz)	Débit de dose gamma ( $\mu\text{Sv/h}$ )	Concentration de radon ( $\mu\text{Ci/m}^3$ )
Lieu de mesure 1	0,004	13,2	0,006
Lieu de mesure 2	0,003	8,7	0,004

### Recommandations

1. Il faudrait dresser une carte de l'utilisation des sols dans le cas du site de Gabal Gattar. L'emplacement des bureaux administratifs, des locaux d'habitation, du matériel et des stockages de déchets radioactifs devrait être évalué pour éviter tout risque de dépôt de produits de filiation du radon sur diverses surfaces. En outre, il faudrait tenir compte de la direction des vents dominants.
2. L'effet biologique sur les travailleurs devrait être examiné très soigneusement à intervalles réguliers en fonction des normes fondamentales de radioprotection [2].
3. La mise au point et l'étalonnage des instruments utilisés pour mesurer le radon et ses produits de filiation devraient toujours être conformes aux normes internationales.
4. Un programme de formation devrait être offert périodiquement aux travailleurs et au personnel concerné par l'extraction et le traitement du minerai d'uranium [3].
5. La contamination des poches d'eau dans les granites uranifères et des puits dans les gisements situés dans des oueds aux environs de Gabal Gattar devrait être étudiée avec précision.
6. L'exploitation, le transport et le stockage des minerais radioactifs produits à la suite des opérations minières devraient être effectués conformément aux normes de sûreté [4].

### Références

- [1] Abdel Monem A., Hussein M.I., El Naggar A.M., Attia K.E. et Omar S.M. (1990), *Monitoring of radon gas and daughters in uranium exploration mines, Eastern Desert, Egypt*. (Surveillance du radon et de ses produits de filiation dans les chantiers miniers d'exploration du Désert Arabe, Égypte), Regional Symposium Environment Studies (UNARC), Alexandrie, pp. 507-522.
- [2] Agence internationale de l'énergie atomique (1982), *Normes fondamentales de radioprotection*, Collection Sécurité, N°9, page 172, AIEA, Vienne.

- [3] Agence internationale de l'énergie atomique (1965), *Principes fondamentaux du contrôle radiologique du personnel*, Collection Sécurité, N°14, p. 44, AIEA, Vienne.
- [4] Agence internationale de l'énergie atomique (1985), *Règlement de transport des matières radioactives*, Collection Sécurité N°6, p. 112, AIEA, Vienne.

## • Espagne •

### Politiques des pouvoirs publics et réglementation

#### *Situation actuelle*

#### *Réglementation*

La Loi N°25/64 en date du 29 avril 1964 sur l'énergie nucléaire régit tous les aspects de toutes les activités dans le domaine de l'énergie nucléaire, et couvre les installations nucléaires, les installations « radioactives »\*, ainsi que l'extraction et le transport de substances radioactives.

La Loi N°15/80 en date du 22 avril 1980 a été promulguée en vue de la création du Conseil de la sécurité nucléaire [*Consejo de Seguridad Nuclear – CSN*], en tant qu'organisme indépendant de l'administration centrale de l'État. Le CSN est seul compétent pour traiter les questions de radioprotection et de sûreté nucléaires. Il a pour mission :

- De proposer au gouvernement les règlements requis en matière de sûreté nucléaire et de radioprotection.
- D'informer le Ministère de l'industrie et de l'énergie des rapports sur les autorisations visant la construction, la mise en service, l'exploitation et la fermeture des installations nucléaires et radioactives.
- De procéder à des inspections.
- De collaborer aux plans d'intervention d'urgence.
- De surveiller et d'étudier les niveaux de rayonnement dans les installations.
- De délivrer les autorisations requises pour le personnel d'exploitation.
- De conseiller l'administration publique, les tribunaux et les institutions.
- D'entretenir des relations officielles avec ses homologues étrangers.
- D'informer le public.

---

\* Par « **installation radioactive** » on entend les usines et locaux contenant une source de rayonnements ionisants ou des matières radioactives en cours de production, traitement ou stockage ainsi que des équipements émettant des rayonnements ionisants.

Le Décret royal N°783/2001 du 6 juillet 2001 relatif à la réglementation sanitaire concernant les rayonnements ionisants a pour objet d'inclure dans la législation espagnole la Directive Euratom 96/29, qui définit les normes fondamentales de sûreté et de protection, de la santé des travailleurs et du public contre les dangers des rayonnements ionisants.

Le Décret royal N°1836/1999 du 31 décembre 1999 sur la réglementation applicable aux installations nucléaires et radioactives établit les règles régissant les autorisations administratives, les installations, les essais et la mise en service, les inspections, le personnel et la documentation y afférente. Les installations de traitement du minerai d'uranium sont classées en tant qu'installations radioactives de première catégorie et leur construction et exploitation nécessitent des autorisations visant les stades suivants : choix du site, construction, mise en service et déclassement.

### *Directives*

Des Guides de sûreté, publiés par le Conseil de la sécurité nucléaire (CSN) sont applicables aux activités d'extraction et de traitement du minerai d'uranium, à savoir :

- GS-5.6 Conditions requises pour l'obtention et l'utilisation de permis concernant le personnel des installations radioactives.
- GS-5.8 Lignes directrices visant la rédaction d'informations sur l'exploitation des installations radioactives.
- GS-7.2 Conditions requises pour obtenir la qualification d'expert en protection contre les rayonnements ionisants afin de pouvoir être responsable de l'unité ou du service technique correspondant.
- GS-7.3 Lignes directrices visant l'établissement des services ou unités techniques chargés de la protection contre les rayonnements ionisants.
- GS-7.4 Lignes directrices visant les soins médicaux dispensés aux travailleurs exposés aux rayonnements ionisants.
- GS-7.6 Manuels définissant les mesures de radioprotection à prévoir dans le cas des installations liées au cycle du combustible nucléaire.
- GS-7.7 Contrôle radiologique de l'eau de boisson.
- GS-10.11 (Projet) L'assurance qualité dans les installations radioactives.

### *Réglementation spécifique applicable au déclassé*

La réglementation espagnole exige que le propriétaire d'une installation, avant de mettre fin à des activités de production, soumette un programme de démantèlement au Ministère de l'économie (MINECO). Ce programme sera évalué par le Conseil de la sécurité nucléaire (CSN) avant que soit accordée une autorisation permettant au propriétaire d'entreprendre les opérations de démantèlement et de déclassé de l'installation.

Le programme de démantèlement comporte les volets suivants :

- Analyse de sûreté
  - Historique de l'exploitation de l'installation décrivant cette dernière et le procédé appliqué, et dressant un inventaire des équipements, des stériles et des résidus concernés par le déclassé.



- Critères de déclassement utilisés pour analyser les différentes solutions envisagées et les actions correctives à mettre en œuvre en liaison avec la décontamination du sol, la déclassification des matériaux, les mesures destinées à empêcher la dégradation des barrières et l'intrusion humaine.
  - Caractérisation radiologique du site, une attention particulière étant portée au fond naturel de rayonnement dans la zone, qui servira de référence pour la réalisation des objectifs du déclassement. L'évaluation des paramètres caractéristiques en rapport avec la météorologie, l'hydrologie, d'hydrogéologie, les facteurs d'utilisation de l'eau et du sol, la géologie, la sismicité et la géotechnique, la démographie, de même que les facteurs socio-économiques.
  - Analyse des incidences radiologiques sur les travailleurs et les personnes du public tant pendant les opérations de déclassement et à l'issue de ce dernier. Une fois achevées les opérations de déclassement, les sources de rayonnement et les différentes voies d'exposition seront évaluées.
  - Programme de surveillance après déclassement portant sur la situation radiologique du site déclassé, à mettre en œuvre pendant une dernière phase de vérification (d'une durée minimale de cinq ans et maximale de dix ans).
- Procédures d'exploitation faisant une place spéciale à l'organisation et aux règles à mettre en œuvre dans des conditions normales et en cas d'accidents.
  - Spécifications techniques applicables pendant la phase de démantèlement.
  - Programme d'assurance qualité garantissant que les opérations sont exécutées conformément aux critères établis. Ces procédures couvrent des aspects tels que l'organisation, le contrôle et la conception, la vérification, les consignes et les procédures d'exploitation, la gestion des documents et des archives, les inspections et les audits.
  - Programme de radioprotection.
  - Plan d'urgence interne.
  - Plan de gestion des déchets radioactifs.
  - Plan de restauration du site, dans lequel les bases techniques de la conception, de la surveillance et du traitement des effluents liquides et des matières solides, et de la gestion des déchets sont établies, de même que la conception des couvertures et l'analyse de stabilité des structures déclassées et le réaménagement définitif des zones concernées.

Tableau 1. **Historique des activités de réaménagement menées en Espagne**

<b>Zones minières</b>	<b>Propriétaire/ responsable de la rémediation</b>	<b>Installations</b>	<b>État du site</b>	<b>Activités en cours</b>
FUA (Andújar/Jaén)	CIEMAT/ ENRESA	Usine de traitement/tas de résidus	Fermé et réaménagé (1991-1994)	Programme décennal (1995-2005) de surveillance en vue de vérifier la conformité aux critères de conception du réaménagement (qualité de l'eau souterraine, lutte contre l'érosion, maîtrise des infiltrations et des émissions de radon).

Tableau 1. **Historique des activités de réaménagement menées en Espagne (suite)**

<b>Zones minières</b>	<b>Propriétaire/ responsable de la rémediation</b>	<b>Installations</b>	<b>État du site</b>	<b>Activités en cours</b>
Lobo-G (La Haba/ Badajoz)	ENUSA/ ENUSA	Mine à ciel ouvert/ Bassin de décantation des résidus de traitement	Fermé et réaménagé (1991-1997)	Programme quinquennal (1998-2003) de surveillance afin de vérifier la conformité aux critères de conception du réaménagement (qualité de l'eau souterraine, lutte contre l'érosion, exposition au radon et au rayonnement gamma).
Anciennes mines d'Estrémadure (13) et d'Andalousie (6)	Différents propriétaires ENRESA	Mines souterraines et à ciel ouvert	Réaménagé (1998- 2000)	Travaux exécutés par l'ENUSA sur demande de l'ENRESA.

### **Installations faisant l'objet d'activités de réaménagement en cours ou prévues**

#### *Caractérisation des installations*

Depuis 1973, l'Enusa [*Empresa Nacional del Uranio, S.A.*] mène des activités d'extraction et de traitement du minerai d'uranium dans la région de Saelices el Chico (Province de Salamanque) ; ces activités sont fondées sur l'exploitation d'une mine à ciel couvert, la lixiviation en tas et une usine hydrométallurgique (usine Elefante) en vue d'obtenir des concentrés d'uranium à partir des solutions de lixiviation enrichies. Au cours de 1993, l'usine Elefante a été progressivement mise hors service et une nouvelle installation (usine Quercus) a démarré utilisant un procédé de lixiviation dynamique. La nouvelle usine a une capacité nominale de 950 t d' $U_3O_8$  par an. Actuellement, en raison du faible niveau des prix de l'uranium, l'installation fonctionne à un niveau de production de 300 t d' $U_3O_8$  par an. À la fin 2000, les activités minières à Saelices el Chico (Salamanque) ont pris fin pour des raisons économiques.

#### *État actuel*

- Usine Elefante : fermée et réaménagement encore en cours.
- Usine Quercus : en exploitation.

#### *Type de contamination radioactive et chimique*

- Eau d'exhaure acide.
- Radionucléides (uranium, radium, etc.).
- Principaux ions (sulfate, ammonium, etc.).
- Métaux en traces (fer, manganèse, etc.).

### **Type de suivi et de surveillance à long terme**

Il existe une période de vérification de la conformité de cinq à dix ans en vue de contrôler la qualité de l'eau souterraine, la maîtrise de l'érosion, les infiltrations et les émissions de radon.

### **Tas de stériles, stocks de minerai appauvri**

Tas de stériles : quatre, représentant un volume de 40 millions de m<sup>3</sup>. Tas de minerai appauvri après exploitation par lixiviation : vingt, représentant un volume de 5 millions de m<sup>3</sup> et une superficie de 35 ha.

### **Résidus de traitement**

Un bassin de décantation un ayant un volume de 2,2 millions de m<sup>3</sup> et une superficie de 20 ha.

### **Coûts globaux**

#### **Données supplémentaires relatives aux coûts par site**

Tableau 2. **Données globales relatives aux coûts par site**

<b>Zones minières</b>	<b>Type d'installation</b>	<b>Production d'uranium (t d'U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>)</b>	<b>Résidus (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Stériles (t)</b>	<b>Coût*</b>
Lobo-G (La Haba/Badajoz)	Mine à ciel ouvert Usine expérimentale Bassins de décantation des résidus	160	1×10 <sup>5</sup>	8×10 <sup>6</sup>	1 300/7,81 (réel)
Elefante (Saelices/ Salamanque)	Mine à ciel ouvert Lixiviation en tas	3 500	4×10 <sup>6</sup> Lixiviation en tas. Épuisés. 3.6×10 <sup>5</sup> Boues de neutralisation	44×10 <sup>6</sup>	4 200/25,24 (escompté)
Quercus (Saelices/ Salamanque)	Mine à ciel ouvert Lixiviation dynamique	2 300	2,2×10 <sup>6</sup> (résidus) 0,8×10 <sup>6</sup> Lixiviation en tas. Épuisés.	24×10 <sup>6</sup>	2 100/12,62 (escompté)

\* millions de pesetas/millions d'Euro. 1 ~ 1 USD.

### Coût total afférent à certains postes et aspects

Compte tenu des données globales sur les coûts relatifs à l'installation Lobo-G (La Haba/Province de Badajoz), mentionnée plus haut, on trouvera ci-après les coûts actuels de déclassement afférents à certains postes.

Tableau 3. Coûts actuels de déclassement

Postes	Coûts	Observations
Planification, ingénierie et autorisation	$5 \times 10^5$ (coût total)	Projet de dossier d'impact sur l'environnement. Évaluation du fond naturel de rayonnement. Étude radiométrique. Analyse de sûreté.
Bassins de décantation des résidus	$1 \times 10^6$ (coût total)	Volume = $1,5 \times 10^5 \text{ m}^3$
Tas de stériles		
• Stabilisation <i>in situ</i>	0,5 /t	Poids = $8 \times 10^6 \text{ t}$
• Transport et remblayage de la mine à ciel ouvert	1,0 /t	Superficie = 20 ha
Démantèlement de l'usine et décontamination du terrain	$5 \times 10^5$ (coût total)	Usine expérimentale (lixiviation en tas et dynamique) Capacité = 500 tonnes/jour.
Installations minières	$3 \times 10^6$ (coût total)	Mine à ciel ouvert Surface = 25 ha Capacité = 3 000 tonnes/jour
Zones réaménagées Remise en état et revégétalisation	1,0 /m <sup>2</sup>	Surface = 60 ha
Évaporation forcée des effluents liquides	1,5 /m <sup>3</sup>	Volume = $4 \times 10^5 \text{ m}^3$
Programme de surveillance après déclassement	$2 \times 10^5$ /an	Cinq ans

\* 1 ~ 1 USD.

## • États-Unis d'Amérique •

### Introduction

#### *Bref historique de l'industrie de l'uranium aux États-Unis*

Peu après la découverte du radium par les Curies en 1898, l'exploitation minière commerciale du minerai uranifère a débuté dans la province du plateau du Colorado, à l'ouest des États-Unis, en vue de répondre aux besoins de la recherche. Vers le début des années 20, quelque 250 000 tonnes de

minerai avaient été extraites principalement pour la production du radium sur le plateau du Colorado<sup>1</sup>. Sur le site d'Uravan dans le Colorado occidental, on a récupéré du radium entre 1915 et 1923 et du vanadium entre 1936 et 1945 à partir de minerais de vanadium-uranium extraits sur place<sup>2</sup>. Au cours de ces périodes, la demande d'uranium a été relativement faible et les quantités d'uranium extraites ont pour une large part été mises au rebut dans les résidus de traitement. De 1942 à 1944, de l'uranium a été récupéré dans quatre usines de traitement à partir de ces résidus de radium-vanadium et à partir de minerai fraîchement extrait aux termes de contrats de programme de défense fédéraux<sup>3</sup>.

Le secteur privé de la production primaire d'uranium aux États-Unis s'est développé entre 1947 et 1970 principalement pour faire face aux besoins de matières brutes (uranium) du Gouvernement pour les programmes de défense poursuivis après la Seconde Guerre mondiale. La Commission de l'énergie atomique des États-Unis [*U.S. Atomic Energy Commission – AEC*] a lancé en 1947 un vaste programme en vue de mettre en valeur de nouvelles sources d'approvisionnement intérieures afin de réduire la dépendance à l'égard des sources étrangères. L'attrait de ce programme consistait en un marché garanti avec des prix minimaux pour l'industrie minière et s'est accompagné initialement d'un effort direct de prospection de la part du Gouvernement. Avec le développement de la prospection par le secteur privé au plan national, d'importants gisements nouveaux ont été découverts vers le milieu des années 50. La capacité théorique de production s'est rapidement accrue après 1955 afin de faire face à l'ouverture de nouveaux districts. Vers la fin de 1958, vu l'accroissement des réserves et la capacité théorique de production en place, et considérant que la production pouvait excéder les besoins prévus, l'AEC a adopté un programme conçu en vue de mieux gérer les arrivages et les besoins d'uranium et de faire en sorte que l'industrie privée alimente le marché prévu du combustible nucléaire commercial. Au cours du programme d'achats d'uranium de l'AEC (1947-1970), approximativement 174 000 tonnes d' $U_3O_8$  d'origine nationale ont été achetées pour servir aux programmes du Gouvernement fédéral. Au cours de ces années, dans des étapes définissables, le marché des concentrés d'uranium s'est transformé, passant d'un monopole, où le Gouvernement fédéral était le seul acheteur, à un marché entièrement commercial sans achats du Gouvernement<sup>4</sup>.

Souhaitant intensifier la mise en valeur et l'utilisation de l'énergie atomique à des fins pacifiques, l'AEC a annoncé en mai 1958 que les producteurs américains de minerais et de concentrés d'uranium pouvaient vendre ces matières à des acheteurs nationaux et étrangers en vue d'utilisations à des fins pacifiques<sup>5</sup>. Les prévisions établies en 1966 concernant les réacteurs nucléaires de puissance civils au plan national laissaient entrevoir un accroissement rapide des besoins en uranium, et, face à la demande prévue d'uranium, l'industrie américaine de la production primaire a commencé à

- 
1. Finch W.I. (1997), *Uranium, its Impact of the National and Global Energy Mix – And its History, Distribution, Production, Nuclear Fuel-Cycle, Future, and Relation to the Environment* (L'uranium, ses incidences sur les parts relatives des différentes sources d'énergie au plan national et mondial – son histoire, sa répartition, sa production, son cycle du combustible nucléaire, son avenir et ses relations avec l'environnement), USGS Circular 1141, (U.S. Government Printing Office, Washington), 24 p.
  2. Albrethsen H. Jr. et McGinley F.E. (1982), *Summary History of Domestic Uranium Procurement Under U.S. Atomic Energy Commission Contracts, Final Report* (Historique succinct des achats d'uranium d'origine nationale aux termes des contrats de la Commission de l'énergie atomique des États-Unis, Rapport final), GJBX-220(82) (Grand Junction Area Office, Grand Junction, Colorado), p. A-39.
  3. *Ibid.*, U.S. Department of Energy, *Commingled Uranium-Tailings Study, Volume II, Technical Report*, (Étude sur les amalgames d'uranium et de résidus, Volume II, Rapport technique), DOE/DP-0011 (Grand Junction Area Office et Bendix Field Engineering Corporation, Grand Junction, Colorado), p. 13.
  4. *Ibid.*, p. 3.
  5. *Ibid.*, p. 5.

développer ses efforts de prospection et de mise en valeur sur une échelle qui s'est avérée sans précédent. Entre 1966 et 1998, plus de 127 000 km de forages, tant de prospection que de traçage, ont été réalisés pour un montant total des dépenses dépassant 1,2 milliards d'USD<sup>6</sup>. L'essentiel de ces forages a été réalisé au cours des années 1966-1982. Pendant ces années, la superficie des terrains déclarée comme détenue à la fin de l'exercice à des fins de prospection et d'exploitation minière de l'uranium est demeurée nettement au-dessus de 6,7 millions d'ha chaque année avec des totaux annuels atteignant environ 11,05 millions d'ha en 1970 et environ 14,16 millions d'ha en 1981<sup>7</sup>.

Les archives du Ministère de l'énergie des États-Unis [*U.S. Department of Energy – DoE*] indiquent qu'au cours des années 1947-1998, l'industrie nationale a prospecté aux États-Unis plus de 5 300 propriétés minières en quête d'uranium. Sur ce nombre, l'exploitation minière du minerai a été entreprise sur environ 3 900 propriétés. À la fin de 1970, 34 usines commerciales de traitement de l'uranium au total avaient produit des concentrés d'uranium destinés à être livrés en vertu de contrats passés avec l'AEC. En outre, divers postes d'achat de minerai, installations pilotes, usines de traitement, unités de valorisation, installations d'extraction par dissolution, et installations de lixiviation en tas ont été exploités à l'appui des programmes de l'AEC. Vers la fin de l'exercice 1998, une centaine d'installations avaient été construites aux États-Unis en vue de la production de pulpe de minerai et/ou de concentrés d'uranium, et seules quelques-unes d'entre elles n'ont jamais été exploitées à pleine capacité.

Aux États-Unis, l'exploitation minière de l'uranium a surtout été pratiquée dans les États de l'Ouest, en Alaska, en Arizona, au Colorado, au Nebraska, au Nouveau Mexique, au Dakota du Sud, au Texas, dans l'Utah, dans l'État de Washington et au Wyoming. Une production notable a aussi été obtenue dans le Dakota du Nord et l'Oregon. Chacun de ces États, à l'exception de l'Alaska et du Dakota du Nord, a aussi abrité au moins une installation classique de traitement du minerai. Les résidus de traitement de l'uranium ont fait l'objet d'une lixiviation sur plusieurs sites afin de récupérer l'uranium. Des installations de lixiviation *in situ* ont été exploitées au Nebraska, au Texas, et dans le Wyoming, et des installations à l'échelle pilote ont fonctionné au Nouveau Mexique. Dans deux mines de cuivre situées en Arizona et dans l'Utah, de l'uranium a été récupéré à partir de solutions de lixiviation de tas de stériles. De l'uranium a été récupéré comme sous-produit de la fabrication d'acide phosphorique par procédé humide dans des usines situées en Floride et en Louisiane, encore que cette production ait cessé vers la fin de 1999. Des phosphates naturels marins extraits de gisements de Floride ont été traités dans les usines de Floride et de Louisiane. Du minerai de phosphorite a également été extrait dans l'Idaho en vue d'un traitement au Canada. La figure 1 indique l'emplacement des districts miniers et des mines aux États-Unis en 1999.

### ***Données sur le réaménagement de l'environnement rassemblé pour la présente étude***

Un grand nombre d'installations de production d'uranium, notamment des mines d'uranium, des usines de traitement, des installations de lixiviation *in situ* et d'autres installations liées à la production d'uranium, ont été aménagées aux États-Unis au cours du long passé de l'industrie de la production primaire d'uranium de ce pays. Les installations de production à grande échelle, notamment les mines, ont pour la plupart été aménagées au cours de la période allant de 1947 à 1998 afin de fournir de

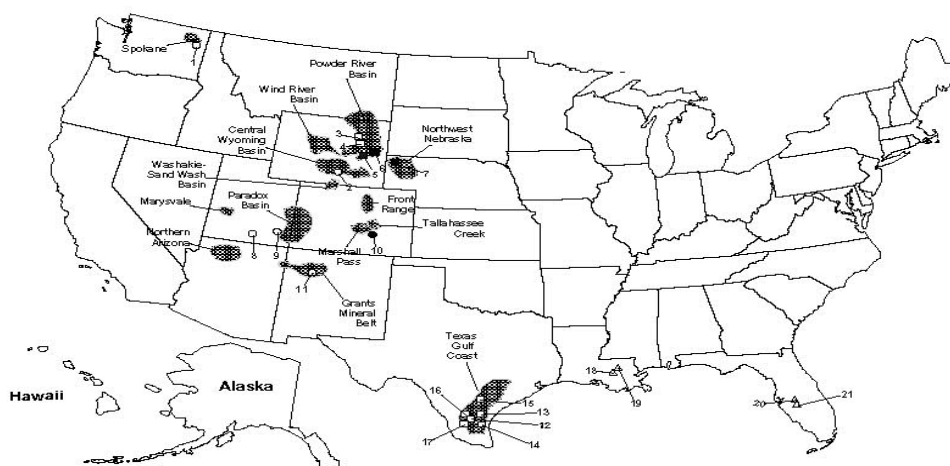
---

6. U.S Department of Energy (1983), *Statistical Data of the Uranium Industry* (Données statistiques sur l'industrie de l'uranium), GJO-100 (83) (Grand Junction Area Office, Grand Junction, Colorado), p. 56 et *Uranium Industry Annual* (Annuaire de l'industrie de l'uranium) (1994), (DOE/EIA-0478 (93) (Washington, DC) & (DOE/EIA-0478 (98) (Washington, DC, avril 1999).

7. *Ibid.*, DOE-100 (83), p. 62.

l'uranium d'abord destiné aux programmes fédéraux conçus pour satisfaire les besoins de la défense nationale (1947-1970) et ultérieurement pour répondre aux besoins en combustible nucléaire des réacteurs nucléaires de puissance civils (1966-1998). Étant donné le très grand nombre de sites en jeu et l'histoire complexe des installations de production d'uranium aux États-Unis, la compilation détaillée d'un rapport ayant trait aux enseignements tirés et à l'analyse des coûts encourus par suite du réaménagement de l'environnement des installations de production aux États-Unis, et aux pratiques et technologies en usage, constituerait une vaste entreprise. En outre, il convient de traiter différemment aux États-Unis les travaux de réaménagement de l'environnement sur les sites des mines et sur ceux des usines de traitement car, en matière de réaménagement, les préoccupations et les procédés, les responsabilités financières et les autorités réglementaires sont dans de nombreux cas différents.

Figure 1. Principales zones de production d'uranium aux États-Unis et situation des usines et installations en 1999

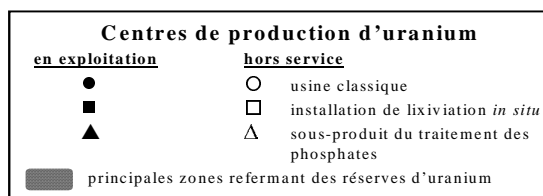


en exploitation à la fin de 1999

- 5. Smith Ranch
- 6. Highland
- 7. Crow Butte
- 10. Canon City

hors service à la fin de 1999

- 1. Dawn Ford <sup>a</sup>
- 2. Sweetwater
- 3. Irigaray <sup>b</sup>
- 4. Christensen Ranch <sup>c</sup>
- 8. Shootaring
- 9. White Mesa
- 11. Ambrosia Lake <sup>d</sup>
- 12. Holiday-El Mesquite <sup>b</sup>
- 13. Rosta
- 14. Kingsville Dome
- 15. Hobson
- 16. West Cole
- 17. O'Hern
- 18. Sunshine Bridge
- 19. Uncle Sam
- 20. Plant City
- 21. New Wales



Pour le rapport par pays des États-Unis, il a été décidé de classer les installations de production en fonction de l'importance de leurs incidences sur l'environnement, et de considérer en priorité celles dont les incidences ont été les plus importantes, notamment les usines de traitement et les mines, puis de descendre dans la liste de manière à traiter autant de sites qu'il est possible dans les limites imposées par les contraintes budgétaires, opérationnelles et temporelles. De cette manière, des

informations ont été compilées concernant les projets de réaménagement de l'environnement entrepris pour les 75 installations de production d'uranium figurant en tête de cette liste. Ces installations ont contribué pour plus de 95 % à la production américaine de concentrés d' $U_3O_8$  jusqu'à la fin de 1998 et, estime-t-on, à au moins 85 % des coûts de gestion du réaménagement de l'environnement engagés ou encourus à la fin de l'exercice 1998. Le rapport s'inspire à la fois des informations à la disposition du public et des synthèses d'informations antérieurement compilées par la société International Nuclear, Inc. (INI), en vue de sa base de données exclusive sur les projets de réaménagement de l'environnement exécutés aux États-Unis. Des informations supplémentaires concernant les volumes de stériles, principalement les morts-terrains renfermant une substance radioactive naturelle technologiquement concentrée [*Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Material – TENORM*] et l'état d'avancement du réaménagement des sites miniers ont été communiquées par l'Agence pour la protection de l'environnement des États-Unis [*Environmental Protection Agency – EPA*] (U.S. EPA, 2000, en préparation) et ont été compilées pour le compte de l'EPA par le Service géologique des États-Unis [*United States Geological Survey – USGS*] aux termes d'un accord interdépartemental.

### **Gisements d'uranium**

Aux États-Unis, les gisements d'uranium peuvent être classés, sur la base de leur cadre géologique et de la nature de la roche encaissante, en quatre grandes catégories : gisements liés à des strates, gisements en remplissage de cheminées bréchiques, gisements filoniens, et gisements de phosphorite marine. Les gisements de type gréseux (liés à des strates) renferment approximativement 88 % de l'ensemble des réserves dans la tranche de coût inférieure à USD 80 par kg d'U (estimation de 1999). L'uranium contenu dans les gisements calcaires, filoniens et autres ou obtenu comme co-produit représente les 12 % restants<sup>8</sup>.

Historiquement, la teneur en uranium du minerai américain a été faible, en moyenne inférieure à 0,25 % en poids. Entre 1947 et 1992, d'importants volumes de minerai d'uranium et de stériles ont été extraits par des techniques classiques d'exploitation à ciel ouvert et en souterrain. La production nationale d'uranium a été obtenue en majeure partie par des techniques d'extraction classiques, et le traitement du minerai a donné lieu à d'importantes quantités de résidus d'uranium. Les déchets issus de l'extraction minière et du traitement, tels que les morts-terrains contaminés, les tas de lixiviation par voie acide, et les résidus, sont radioactifs et potentiellement dangereux. Les volumes de déchets solides engendrés par la récupération de l'uranium à partir des eaux d'exhaure, de la lixiviation *in situ*, et des effluents d'acide phosphorique provenant du procédé par voie humide, ont été relativement faibles et sont habituellement déposés dans des bassins de décantation des résidus faisant l'objet d'autorisations.

En raison des caractéristiques géologiques de la répartition du minerai dans de nombreuses parties du plateau du Colorado (lentilles isolées de minerai de taille réduite à moyenne ou chenaux linéaires sinueux de minerai), des milliers de mines ont été aménagées dans le Colorado, l'Utah, l'Arizona, et le Nouveau Mexique sur de petits corps minéralisés, parfois ne dépassant pas de la taille d'une seule bille de bois pétrifié uranifère pesant quelques tonnes. Dans de nombreux cas, ces corps minéralisés se présentent sous forme d'amas constituant des districts, et les minerais sont expédiés à partir des propriétés minières productrices vers des usines centralisées. Ces petites mines ont produit de petites

---

8. Finch W.I. et col. (2000), *Characteristics of Uranium Deposits, USA* (Caractéristiques des gisements d'uranium, États-Unis), U.S. Geological Survey, (Denver, Colorado, 2000). Communication établie en vue du 31ème Congrès International de Géologie, Rio de Janeiro, Brésil.  
<http://www.31igc.org/ingles/first.htm/cbrazil.dominal.com/si.203e.pdf>. (octobre 2000).



quantités de stériles d'ordinaire mis au rebut dans un périmètre de quelques mètres à une centaine de mètres de l'entrée de la mine ou puits. Les cartes minières dans les publications montrent généralement d'importantes exploitations souterraines suivant les zones minéralisées, avec seulement de petits entassements de stériles à l'entrée de la galerie débouchant au jour. Des mines de ce type sont éparpillées sur de vastes zones dans le sud-est de l'Utah, le sud-ouest du Colorado, le nord-ouest du Nouveau Mexique et le nord-est de l'Arizona. Vers la fin du programme d'achats de l'AEC en 1970, plusieurs centaines de mines souterraines et à ciel ouvert de taille réduite à moyenne, soit étaient épuisées, soit étaient devenues non rentables et étaient abandonnées<sup>9</sup>.

De nombreuses propriétés minières se sont révélées renfermer des corps minéralisés beaucoup plus importants, tant sur le plateau du Colorado que dans des zones situées dans d'autres États et des exploitations minières considérables ont été aménagées sur ces sites. Depuis le début des années 60, la plupart des activités d'extraction minière de l'uranium ont été menées sur une plus grande échelle que celle pratiquée auparavant et des méthodes minières classiques ont été mises en œuvre pour récupérer les minerais. On a recours à l'exploitation minière à ciel ouvert pour les gisements métallifères qui se trouvent à proximité de la surface, alors que l'exploitation souterraine est utilisée pour extraire le minerai de gisements plus profonds<sup>10, 11, 12, 13</sup>.

### ***Déchets issus de l'extraction et du traitement du minerai d'uranium : panorama des méthodes de traitement***

Depuis le milieu des années 70, la production par extraction *in situ* aux États-Unis a régulièrement progressé, alors que celle par des méthodes classiques d'extraction a régulièrement diminué. Entre 1993 et 1998, aucun minerai n'a été extrait par les méthodes classiques. En 1996, moins de 7 % de la production totale aux États-Unis provenaient de mines souterraines, et il n'a pas été produit de minerai à partir de mines à ciel ouvert depuis 1992<sup>14</sup>.

Le minerai d'uranium, et dans une moindre mesure, les stériles connexes, peuvent contenir de l'arsenic, du cobalt, du cuivre, du molybdène, du nickel, du plomb, du sélénium, du vanadium, et du

- 
9. U.S. Environmental Protection Agency, en préparation, *Uranium Mining Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Materials* (Substances radioactives naturelles technologiquement concentrées par l'exploitation minière de l'uranium), Washington, DC.
  10. U.S. Department of Energy, Energy Information Administration (1991). *Uranium Industry Annual 1990*. (Annuaire de l'industrie de l'uranium, 1990), DOE/EIA-0478 (90), Distribution Category UC-98, Washington, DC.
  11. U.S. Department of Energy, Energy Information Administration (1993). *Domestic Uranium Mining and Milling Industry 1992, Viability Assessment*. (Secteur national des mines et usines de traitement d'uranium, 1992 – Évaluation de viabilité), DOE/EIA-0477 (92), Distribution Category UC-98, Washington, DC.
  12. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Radiation Programmes (1983)b. *Report to Congress: – Potential Health and Environmental Hazards of Uranium Mine Wastes*. (Rapport au Congrès : Risques potentiels pour la santé et l'environnement imputables aux déchets de l'extraction minière de l'uranium), U.S. Government Printing Office, Washington, DC.
  13. Grey C. (1993), *Uranium: From Ore to Concentrate* (Uranium : du minerai au concentré), The Nuclear Engineer, Vol. 34:1.
  14. Energy Information Agency (1997), *Uranium Industry Annual 1996*, U.S. Department of Energy, DOE/EIA-0478(96).

zinc à l'état d'éléments traces en plus de l'uranium et de ses produits de filiation<sup>15</sup>. Des ions métalliques de ces éléments peuvent se rencontrer en quantités variables dans les résidus de traitement. Du fait que ces ions sont potentiellement toxiques, le programme de réaménagement des résidus doit être conçu de manière à en assurer la rétention et à empêcher des fuites qui pourraient contaminer les sols et les eaux souterraines à proximité immédiate. Les isotopes de l'uranium présents dans la nature <sup>238</sup>U et <sup>235</sup>U sont des pères à vie longue de familles radioactives distinctes composées d'un certain nombre de descendants radioactifs à vie courte<sup>16</sup>. Les isotopes présents dans la nature de la famille radioactive de l'<sup>238</sup>U, <sup>234</sup>U, <sup>226</sup>Ra, <sup>222</sup>Rn, <sup>230</sup>Th, <sup>210</sup>Po, et <sup>210</sup>Pb, existent en faibles concentrations dans les résidus et sont un sujet de préoccupation particulier en ce qui concerne la conception définitive de la couverture des bassins de rétention des résidus. Parmi ces isotopes, le <sup>210</sup>Pb, le <sup>210</sup>Po, le <sup>226</sup>Ra, l'<sup>234</sup>U, et le <sup>230</sup>Th peuvent être absorbés par la végétation et transportés vers la surface à partir des résidus ; le <sup>222</sup>Rn peut, en puissance, être libéré dans l'air et pose un problème important. S'agissant d'un gaz rare d'une période de 3,82 jours, le <sup>222</sup>Rn, s'il vient à s'échapper et à être entraîné par le vent, peut être transporté sur de longues distances sous le vent des déblais de déchets, encore que toute exposition éventuelle de l'homme se situerait probablement à un très faible niveau<sup>17</sup>. Les études ont montré qu'il n'est pas possible de dissocier des concentrations dues au fond naturel, les niveaux de radon à des distances inférieures à un kilomètre des bassins de décantation des résidus<sup>18</sup>.

Les caractéristiques chimiques et physiques des résidus peuvent influencer sur l'efficacité des mesures de réaménagement. Les résidus présentent souvent soit une forte acidité, soit une forte alcalinité. L'eau interstitielle provenant des tas de résidus acides et alcalins peut contenir des taux élevés d'ions de métaux lourds (en cas d'acidité) et des taux élevés de bore (en cas d'alcalinité). Ces contaminants toxiques peuvent être préjudiciables à l'établissement d'une couverture végétale efficace sur les entassements de déchets réaménagés et, en cas de fuites, ils sont susceptibles d'être nocifs pour les eaux souterraines se trouvant à proximité. La plupart des matériaux constituant les résidus offrent de très faibles quantités d'éléments nutritifs pour les plantes et, étant quasi stériles du point de vue microbiologiques, sont extrêmement pauvres en éléments fertilisants. Les résidus peuvent avoir une texture très fine, avec une fraction granulométrique d'argile élevée (atteignant 60 %) ou être très sableux : chacune des extrêmes peut poser des problèmes dans la réalisation d'une couverture végétale efficace du sol. La conductivité hydraulique à saturation en eau dans les résidus de traitement d'uranium peut être faible, limitant par conséquent la disponibilité de l'eau susceptible d'être utilisée par la végétation constituant la couverture<sup>19</sup>.

- 
- 15 Farmer E.E. et Schuman G.E. (1987), *Reclamation of Uranium Mining and Milling Disturbances* (Remise en état des sites perturbés par l'extraction et le traitement du minerai d'uranium), dans *Environmental Consequences of Energy Production: Problems and Prospects* (Conséquences sur l'environnement de la production d'énergie : problèmes et perspectives), Textes rassemblés par S.K. Majumdar, et.col., The Pennsylvania Academy of Science, pages 182-197.
  16. Brownlow A.H. (1979), *Geochemistry*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J., pages 40-41.
  17. Farmer E.E. et Schuman G.E. (1987), pages 182-197.
  18. Shearer et Sill (1993), *Evaluation of Atmospheric Radon in the Vicinity of Uranium Mill Tailings* (Evaluation du radon dans l'atmosphère au voisinage des résidus de traitement de l'uranium), Health Physics, 1969, p. 17, dans Johnson S. et Moss C.A., *An Overview of United States Uranium Mine and Mill Reclamation* (Panorama du réaménagement des mines et usines de concentration d'uranium aux États-Unis), U.S. Council for Energy Awareness, Washington, D.C., p. 3.
  19. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Radiation Programmes, (1983)b. *Report to Congress: Potential Health and Environmental Hazards of Uranium Mine Wastes*. (Rapport au Congrès : Risques potentiels pour la santé et l'environnement imputables aux déchets de l'extraction minière de l'uranium), U.S. Government Printing Office, Washington, DC.

Les sites réaménagés de déchets d'uranium constituent un risque potentiel pour la santé des populations humaines et nécessitent des stratégies de gestion spécifiques afin d'assurer l'isolement efficace à long terme de toutes les matières radioactives et des ions toxiques de métaux lourds dans des structures de confinement ouvragées. Les réglementations et politiques spécifiques, qui ont été mises en place pour gérer les déchets d'uranium, sont examinées dans la section relative aux « politiques de réaménagement ».

#### *Exploitation minière à ciel ouvert*

La profondeur à laquelle la technologie d'exploitation minière à ciel ouvert permet de récupérer du minerai d'uranium dépend d'un éventail de facteurs, notamment de la teneur et de la répartition du minerai, des propriétés hydrologiques de la roche encaissante, de la conservation prévisible dans le temps des propriétés mécaniques de la roche encaissante une fois mise à nu, du contexte géologique du gisement, de la nature des morts-terrains et du coefficient de recouvrement. La profondeur maximale d'une exploitation minière à ciel ouvert aux États-Unis a été d'environ 170 mètres. Les coefficients de recouvrement décrivent la quantité de morts-terrains (stériles) qui doit être retirée pour extraire une quantité unitaire de minerai. Un rapport indique que les coefficients de recouvrement pour les mines d'uranium à ciel ouvert se situaient entre 10:1 et 80:1 avec une moyenne de l'ordre de 30:1<sup>20</sup>.

#### *Exploitation minière souterraine*

Dans l'installation de surface de la mine, le minerai extrait est stocké en tas classés par teneur, et les stériles et déblais ramenés à la surface sont placés dans des tas de stériles. Les techniques d'exploitation minière souterraine permettent de laisser sur place une grande partie des matériaux non minéralisés, le ratio entre stériles (déblais/déchets) et minerai pour une mine souterraine est généralement bien inférieur au coefficient de recouvrement correspondant pour une mine à ciel ouvert. Le ratio entre stériles et minerai dans les mines des États-Unis a été de l'ordre<sup>21</sup> de 1:1,5 à 1:16. Dans des mines souterraines peu profondes auxquelles on accède par une galerie débouchant au jour, le minerai et les stériles peuvent être amenés à la surface par train, bande transporteuse motorisée ou camions lourds à moteur diesel. Dans l'exploitation minière souterraine, l'extraction du minerai progresse souvent selon une séquence programmée de phases d'exploitation partant de la limite extérieure de la masse minéralisée ou de la délimitation de la propriété vers l'intérieur en direction du puits ou de la galerie débouchant au jour utilisés comme principale voie de roulage conçue pour acheminer à la surface le minerai extrait.

#### *Concentration (traitement de l'uranium par lixiviation acide)*

Dans une usine de traitement de l'uranium, l'oxyde d'uranium ( $U_3O_8$ ) est extrait de minerai et concentré sous forme de concentré orange d'oxyde d'uranium. Le minerai reçu dans l'usine est pesé et échantillonné en vue de déterminer la teneur en humidité, puis il est stocké dans des trémies (lots) par source du minerai ou par teneur. Le minerai mélangé est finement broyé avec de l'eau afin de préparer une pulpe de minerai prête pour faire l'objet d'une lixiviation chimique. La lixiviation à l'acide sulfurique est la plus communément utilisée aux États-Unis. Après lixiviation, le produit sous forme de pulpe fait l'objet d'une opération de lavage/épuration à passes multiples et l'uranium économiquement récupérable (90 à 98 % du minerai brut) est récupéré. La précipitation, le filtrage, le

---

20. *Ibid.*

21. *Ibid.*

lavage et le séchage permettent d'obtenir le concentré orange contenant jusqu'à 90 % d'oxyde d'uranium.

Le lavage de la fraction solide du traitement (sables et boues) réduit la perte de réactifs, car l'eau de lavage peut être recyclée en vue d'une réutilisation dans le concassage et broyage ou la lixiviation. Les résidus solides du lavage sont finalement stockés dans les bassins de décantation. Les déchets solides restants issus du procédé d'extraction sont qualifiés de produit radioactif aux termes de la législation américaine (Loi sur l'énergie atomique [*Atomic Energy Act*]) et doivent être conservés dans des bassins de retenue des résidus spécialement réglementés.

### *Exploitation minière par dissolution in situ*

La lixiviation *in situ* ou LIS, est la technique d'exploitation minière par dissolution la plus couramment utilisée et a été employée dans des mines au Wyoming, au Texas, et au Nebraska, des exploitations à l'échelle pilote ayant fonctionné au Nouveau Mexique.

Lorsque la récupération à partir d'un champ de puits tombe en dessous d'une valeur prédéterminée, il est mis fin à l'injection de solution lixiviante et la phase de réaménagement du champ de puits commence. La remise en état de l'aquifère du champ de puits démarre à l'achèvement de la récupération de l'uranium, comme cela est prescrit aux termes des programmes réglementaires de l'État. Il faut normalement rétablir l'aquifère dans la catégorie d'usage de l'eau préalable à l'exploitation minière, encore que tous les paramètres de qualité de l'eau ne doivent pas nécessairement revenir aux valeurs de départ. En droit américain, les déchets solides générés par les opérations d'exploitation minière *in situ* au cours du processus de concentration sont considérés comme des produits radioactifs et sont généralement expédiés dans les installations de résidus de traitement. Les eaux de soutirage provenant des puits d'extraction au cours du réaménagement sont aussi envoyées dans des bassins d'évaporation. Les boues accumulées dans les bassins sont soit évacuées dans des décharges autorisées à recevoir des matières radioactives, soit injectées dans des puits d'évacuation souterraine.

### **Réglementation en matière d'environnement applicable aux installations de récupération de l'uranium**

Aux États-Unis, une prise de conscience croissante de l'étendue et de la gravité des dommages qui se sont accumulés dans l'environnement naturel par suite d'une surveillance réglementaire indulgente et, dans certain cas, absente, régissant les verses à stériles, l'évacuation de déchets dangereux et les sites miniers non réaménagés a conduit, au début des années 70, à la promulgation, au plan fédéral et à celui des États, de plusieurs lois conçues pour protéger les ressources en matière d'air, d'eau et de sols. Les effets sur l'environnement résultant de l'extraction et de la concentration de l'uranium proviennent principalement de deux sources : les activités d'exploitation minière et les radionucléides présents dans les déchets. Les activités d'exploitation minière à ciel ouvert peuvent en puissance créer des perturbations de l'environnement en surface, par exemple, un ruissellement accru des eaux de surface et une plus forte érosion due au vent et à l'eau. Des procédés d'exhaure mis en œuvre dans les exploitations minières en surface et souterraines peuvent créer des cônes de dépression qui peuvent persister dans un réservoir d'eau souterraine après la cessation de l'exploitation minière. Les effets potentiels sur l'environnement découlant des activités minières *in situ* concernent avant tout les eaux souterraines. En général, sur les sites d'exploitation minière *in situ*, le degré de perturbation de la surface naturelle est normalement peu important ; cependant, les incidences liées aux exploitations minières *in situ* (par exemple, déblais de foration, bassins artificiels, enfouissement des canalisations de solutions d'attaque, etc.) ne sont pas bien documentées, et l'on n'a pas non plus

procédé à une évaluation d'ensemble des incidences des volumes de déchets des bassins de décantation-évaporation et de la radioactivité connexe.

Les résidus de traitement, et plus particulièrement les radionucléides qu'ils contiennent, semblent constituer une importante source d'incidences pour l'air, le sol, les eaux de surface et l'eau souterraine. Il ressort des conclusions figurant dans le rapport de l'EPA (1985), *Report to Congress : Potential Health and Environmental Hazards of Uranium Mine Wastes* (Rapport au Congrès : Risques potentiels pour la santé et l'environnement des déchets des mines d'uranium), que l'utilisation de résidus de traitement de l'uranium pour des travaux de construction hors site menaçait très gravement la santé humaine. L'EPA a aussi estimé qu'un tel usage des stockages de produits de découverte non réaménagés<sup>22</sup> constitue un problème analogue. Sur certains sites de mines exploitées *in situ*, le contrôle inefficace des fuites d'agents de lixiviation au-delà des limites prévues du champ de puits a abouti à une pollution localisée des aquifères d'eaux souterraines.

Selon le rapport de l'EPA (1995) intitulé *A Technical Resource Document, Extraction and Beneficiation of Ores and Minerals, Volume 5 – Uranium* (Document technique sur les ressources – extraction et concentration des minerais et minéraux, Volume 5 – Uranium), les textes législatifs (et la réglementation connexe) qui instaurent des mesures de contrôle de l'environnement visant le réaménagement des installations de récupération de l'uranium comprennent : la Loi sur la pollution de l'eau [*Clean Water Act – CWA*], modifiée (33 USC 1251 *et seq.*) ; la Loi sur la pollution de l'air [*Clean Air Act – CAA*], modifiée (42 USC 7401 *et seq.*) ; la Loi sur l'eau potable [*Safe Drinking Water Act – SDWA*], modifiée (42 USC 300 (f) *et seq.*) ; et la Loi sur l'énergie atomique [*Atomic Energy Act – AEA*] (42 USC 2021 *et seq.*), modifiée par la Loi sur le contrôle des rayonnements émis par les résidus de traitement de l'uranium [*Uranium Mill Tailings Radiation Control Act – UMTRCA*] (72 USC 7901 *et seq.*). En ce qui concerne l'assainissement des installations qui répondent à certains critères de classement en raison du risque potentiel qu'elles présentent pour le public et l'environnement, c'est la Loi cadre sur les mesures d'intervention, l'indemnisation et la responsabilité dans le domaine de l'environnement [*Comprehensive Environmental Response, Compensation and Liability Act – CERCLA*] (42 USC 9601 *et seq.*) qui s'applique. Parmi les principaux organismes fédéraux auxquels il incombe d'assurer la mise en œuvre de la législation susmentionnées, figurent l'Agence pour la protection de l'environnement [*Environmental Protection Agency – EPA*], la Commission de la réglementation nucléaire [*Nuclear Regulatory Commission – NRC*], et le Ministère de l'énergie [*Department of Energy – DoE*]. On trouvera dans les paragraphes suivants, une présentation de chacune de ces importantes lois, qui seront décrites plus en détails dans des sections ultérieures.

La CAA confère à l'EPA le pouvoir de réglementer les émissions tant de polluants « classiques » tels que les « PM<sub>10</sub> » (particules de moins de 10 micron) que des polluants dangereux, comme le radon. Ces deux types de polluants atmosphériques sont émis par les activités d'extraction et de concentration de l'uranium.

La CWA confère à l'EPA le pouvoir d'imposer des limites relatives aux effluents, par l'intermédiaire de permis, applicables aux rejets dans les eaux des États-Unis à partir de sources ponctuelles, notamment les sites d'extraction et de concentration de l'uranium. Elle habilite également l'EPA à réglementer par des permis les déversoirs d'orage, à partir des sites de mines tant en exploitation que hors service.

L'EPA a établi un Programme de contrôle des injections dans les formations souterraines [*Underground Injection Control (UIC) programme*] en vertu de la Loi sur l'eau potable (SDWA). Par

---

22. U.S. Environmental Protection Agency, en préparation, *Uranium Mining Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Materials* (Substances radioactives naturelles technologiquement concentrées provenant de l'exploitation minière de l'uranium), Washington, DC.

le biais de ce programme, l'EPA a mis en place un système de permis visant à garantir que les sources souterraines d'eau de boisson seront protégées de l'injection dans le sous-sol de fluides et d'effluents liquides de procédé par l'intermédiaire de puits ; sont notamment inclus les effluents produits au cours de l'extraction et de la concentration de l'uranium.

Aux termes de l'UMTRCA, il incombe à l'EPA d'établir les normes applicables à l'exposition du public à des matières radioactives provenant des résidus de traitement ainsi que les normes relatives à la dépollution et au contrôle des sites hors service de résidus d'uranium et des éventuelles zones avoisinantes dites connexes. L'EPA s'est vu attribuer le pouvoir d'établir des normes régissant la gestion des résidus et déchets d'uranium sur les sites en exploitation. Aux termes de l'UMTRCA, le DoE a pour rôle de procéder à la dépollution et au contrôle des tas de résidus d'uranium après cessation des activités afin de respecter les normes de l'EPA.

L'UMTRCA prescrit à la Commission de la réglementation nucléaire (NRC) de prêter son concours à certaines mesures retenues par le DoE en vue de dépolluer et contrôler les sites d'usines de traitement après cessation des activités. Aux termes de cette Loi, il incombe aussi à la NRC de délivrer les autorisations relatives aux usines de traitement de l'uranium en exploitation et aux sites réaménagés de résidus d'uranium après cessation des activités. Bien que la NRC ait édicté des normes de radioprotection destinées à réglementer les sites de traitement de l'uranium en exploitation et hors service, elle n'est pas dotée de compétences réglementaires visant les mines d'uranium, à l'exception des activités menées en surface dans des mines exploitées *in situ*. On trouvera dans les sections ci-après une analyse plus complète des rôles réglementaires de chacun de ces organismes.

La CERCLA a instauré une taxe frappant les industries chimiques et pétrolières et de larges compétences fédérales afin de faire face directement aux rejets ou menaces de rejets de substances dangereuses susceptibles de mettre en danger la santé publique ou l'environnement. En cinq années, 1,6 milliards d'USD ont été perçus et la taxe alimente un fonds de dépôt affecté à la dépollution des sites de déchets dangereux abandonnés ou non contrôlés. La CERCLA a établi des interdictions et des prescriptions visant les sites de déchets dangereux fermés et abandonnés, engagé la responsabilité des personnes responsables de rejets de déchets dangereux sur ces sites, et établi un fonds de dépôt destiné à financer la dépollution lorsque aucune partie responsable n'a pu être identifiée. On a eu et on continue d'avoir recours à cette législation pour la dépollution des mines d'uranium abandonnées.

Les compétences afférentes à la réglementation par les organismes des États des activités d'extraction et de concentration de l'uranium procèdent des programmes délégués par les autorités fédérales et des pouvoirs conférés par la législation des États. Les programmes fédéraux qui s'appliquent aux activités d'extraction et de concentration de l'uranium et dont l'exécution peut être déléguée aux États comprennent : le programme UIC, le Système national d'élimination des rejets de polluants [*National Pollutant Discharge Elimination System – NPDES*] et la délivrance d'autorisations ainsi que les normes de radioprotection de la NRC. Pour qu'un État soit capable d'administrer tout ou partie de ces programmes fédéraux, il faut qu'il dispose de prescriptions qui soient tout aussi rigoureuses que les programmes fédéraux correspondants.

### ***Méthodes de réaménagement***

#### *Réaménagement des exploitations de lixiviation in situ*

La restauration des réservoirs aquifères peut être réalisée à l'aide de plusieurs techniques : le nettoyage de l'eau souterraine, la remise en circulation dans le sens du courant, la remise en circulation à contre courant, et le nettoyage de l'eau souterraine orientée par un gradient hydraulique. Dans certains cas, un agent réducteur peut être injecté dans un champ de puits épuisé afin de réduire à nouveau le milieu oxydant créé dans le niveau minéralisé pendant le processus d'exploitation minière

avant d'entreprendre un projet de réaménagement à long terme. Un agent réducteur peut aussi être injecté à un stade plus tardif du projet, au cas où il deviendrait difficile de parvenir à la stabilisation de l'eau souterraine dans le niveau minéralisé<sup>23</sup>.

Le nettoyage de l'eau souterraine donne lieu au pompage sélectif de l'eau à partir du niveau minéralisé exploité de manière à induire un afflux contrôlé d'eaux souterraines non contaminées dans la zone exploitée. L'eau contaminée retirée du niveau minéralisé exploité peut être évacuée dans des bassins d'évaporation munis de revêtements ou épurée en la faisant passer au travers du circuit à échange d'ions et en la déversant à la surface naturelle. Ces techniques sont les plus efficaces pour réaménager des champs de puits qui sont bordés par des couches encaissantes semi-perméables, car des eaux souterraines non contaminées peuvent être amenées à affluer dans les zones exploitées. D'ordinaire, il faut un équivalent d'eau non contaminée représentant deux fois ou plus le volume d'eau contaminée pour améliorer les paramètres de qualité de l'eau dans la zone exploitée. L'un des inconvénients de cette technique de nettoyage de l'eau souterraine est sa consommation d'eau souterraine<sup>24</sup>.

La technique de la remise en circulation dans le sens du courant implique le prélèvement et la réinjection de l'eau souterraine par les mêmes puits d'injection et de production qui ont été utilisés au cours de l'exploitation minière. L'eau souterraine prélevée à partir de l'aquifère minier est traitée à l'aide de la technologie des échanges d'ion ou de l'osmose inverse et l'eau épurée est ensuite réinjectée et remise en circulation à travers la zone exploitée. L'eau réinjectée est traitée afin de garantir qu'elle respecte ou dépasse les prescriptions de qualité des eaux souterraines souhaitées à la fin du processus de restauration. Cette méthode ne permet pas de retirer les éventuelles quantités d'agent de lixiviation ou d'ions mobilisés susceptibles de s'être échappés de l'aquifère minier. C'est pourquoi la remise en circulation dans le sens du courant est la méthode la plus efficace à utiliser pour restaurer les portions intérieures épuisées du niveau minéralisé<sup>25</sup>.

Une autre technique dite de la remise en circulation à contre courant inverse consiste à inverser les fonctions des puits d'injection et de récupération. Dans cette méthode, de l'eau « propre » est injectée dans le minerai épuisé par les anciens puits de « récupération » et parallèlement l'eau souterraine est retirée du niveau minéralisé par les anciens puits d'« injection ». Cette méthode est également plus efficace pour restaurer l'aquifère à l'intérieur du champ de puits qu'à la périphérie de ce dernier<sup>26</sup>.

Le nettoyage de l'eau souterraine orientée par un gradient hydraulique consiste à pomper l'eau souterraine contaminée à partir de certains puits tout en injectant simultanément de l'eau de qualité de référence (ou meilleure) dans l'aquifère à l'extérieur de la zone épuisée de l'aquifère. L'eau souterraine non contaminée (propre) est attirée dans le niveau minéralisé épuisé ce qui permet d'éliminer les ions mobilisés à partir de l'aquifère. De telles opérations de nettoyage peuvent être conçues de manière à progresser par étapes à travers un champ de puits de manière à optimiser la récupération des contaminants qui subsistent après l'exploitation minière.

---

23. Lucht R. (1990). Communication personnelle entre M. Robert Lucht, Coordinateur du contrôle des injection souterraines, Wyoming Department of Environmental Quality (Département de la qualité de l'environnement du Wyoming), et Mme Laurie Lamb, Science Applications International Corporation, 12 septembre 1990.

24. Osiensky J.L. et Williams R.E. (1990), *Factors affecting efficient aquifer restoration at in situ uranium mine sites* (Facteurs influant sur la restauration efficace de l'aquifère sur les sites de mines d'uranium exploitées *in situ*). Groundwater Monitoring Review, p. 107-112.

25. *Ibid.*

26. *Ibid.*

Des quantités relativement faibles d'uranium peuvent être récupérées au cours des premiers stades de restauration de l'aquifère en faisant passer l'eau provenant des puits de production par le circuit d'échange d'ions. Au fur et à mesure que la restauration se poursuit, la quantité d'uranium récupérée finira par tomber en dessous d'un seuil de rentabilité prédéterminé à partir duquel la récupération de l'uranium est abandonnée. Le rinçage exige d'ordinaire le recours à plusieurs fois le volume des pores de l'aquifère pour parvenir au niveau souhaité de restauration. Le nombre de volumes des pores requis dépend de la rapidité avec laquelle l'eau souterraine de l'aquifère revient aux conditions de point zéro et redevient conforme aux exigences du permis établies par l'État<sup>27, 28</sup>.

La démonstration de la réussite de la restauration est apportée par une surveillance étendue de l'état des eaux souterraines dans la zone épuisée restaurée. Par exemple, l'État du Wyoming exige que des puits choisis continuent de faire l'objet d'une surveillance afin d'établir la stabilité de l'état de ces eaux pendant une période d'au moins six mois après que les eaux souterraines sont revenues aux paramètres de point zéro<sup>29</sup>.

### *Surveillance*

Les exploitations *in situ* maintiennent des puits de surveillance et un plan de surveillance afin de détecter toute migration d'agent de lixiviation hors de la zone de production. Un tel déplacement de l'agent de lixiviation et d'un quelconque de ses constituants hors de la section exploitée de l'aquifère en direction des aquifères adjacents ou sus-jacent est qualifié de fuite. Les fuites peuvent être soit verticales soit horizontales. D'ordinaire des fuites horizontales se produisent à l'intérieur du niveau minéralisé lorsque les débits de pompage à partir des puits de production ne créent pas un cône de dépression de l'eau souterraine suffisamment important pour maintenir l'agent de lixiviation à l'intérieur de la zone de production d'uranium. Ces fuites sont maîtrisées en réglant les débits de pompage des puits d'injection et de production. Les fuites verticales se produisent lorsque des constituants des agents de lixiviation sont détectés dans un aquifère situé généralement au-dessus du niveau minéralisé. Des fuites verticales peuvent apparaître par suite de l'existence d'une couche de roche encaissante semi-perméable, de la construction défectueuse des puits d'injection ou de production ou, plus couramment, de la fuite d'agents de lixiviation à partir de la zone de production par l'intermédiaire de trous de sonde forés antérieurement qui n'ont pas été convenablement obturés avant le démarrage des opérations d'exploitation minière. Les fuites verticales sont plus difficiles à corriger et peuvent exiger d'importants essais afin de déterminer la source précise de la « fuite ». De tels trous de sonde peuvent devoir être réobturés, suivant la source et la gravité des fuites verticales. Le nombre de fuites se produisant au cours des opérations d'exploitation minière *in situ* s'est réduit avec le temps en raison d'une meilleure connaissance des causes, d'une amélioration des techniques de surveillance, des progrès technologiques de l'exploitation minière *in situ*, et de l'application de méthodes spécifiques permettant de maîtriser les incidences des fuites et d'y mettre fin. Vers la fin des années 80, des connaissances supplémentaires ont été acquises concernant les causes des fuites et les moyens d'y remédier, ce qui a permis de recourir plus largement à l'exploitation minière *in situ*<sup>30</sup>.

---

27. *Ibid.*

28. U.S. Department of the Interior (Ministère de l'intérieur des États-Unis), Bureau of Mines (1979), *Environmental Assessment of In situ Leach Mining, Final Report* (Evaluation du point de vue de l'environnement de l'exploitation minière par lixiviation *in situ*, – Rapport final). Établi par PRC Troups et Mountain States Research and Development. 292 pages.

29. Wyoming Department of Environmental Quality, Land Quality Division (1990), Guideline No. 4 (Directive N°4), *In situ Mining* (Exploitation minière *in situ*).

30. U.S. Nuclear Regulatory Commission, Division of Waste Management (Division de la gestion des déchets), (1986). *An Analysis of Excursions at Selected In situ Uranium Mines in Wyoming and Texas*



Dans le cadre du programme de surveillance, des limites supérieures de contrôle ont été fixées au cours de la collecte de données de point zéro. Ces limites sont constituées par des paramètres relatifs aux eaux souterraines qui devraient augmenter en cas de fuite<sup>31</sup>. Les teneurs totales en matières dissoutes, en chlorures, en sulfates, en bicarbonates et en sodium ont habituellement été utilisées comme limites supérieures de contrôle. Étant donné qu'il peut se produire des fuites horizontales et verticales, des puits de surveillance sont régulièrement forés au-dessus, en dessous et latéralement dans le voisinage immédiat de la zone de production afin de permettre un accès en vue de tester l'état des eaux souterraines. La surveillance est exercée systématiquement comme le stipule le permis d'exploitation des sites miniers.

### ***Politiques, réglementation et situation présente en matière de réaménagement***

La réglementation et les politiques (normes et directives) applicables au réaménagement et à la restauration des installations de production d'uranium entrent dans trois catégories :

- Réglementation et politiques fédérales (NRC et DoE) régissant les installations de traitement relevant du Titre I de l'UMTRCA.
- Réglementation et politiques fédérales (NRC et DoE) régissant les installations de traitement relevant du Titre II de l'UMTRCA.
- Réglementation et politiques des États régissant les mines d'uranium ainsi que réglementation fédérale et des États en matière de radioprotection et de dépollution des sites présentant une contamination radioactive.

On trouvera à la suite de cette section une description de chacune des agences fédérales auxquelles il incombe de réglementer les installations de récupération de l'uranium, de même que des principales normes ou règles de réaménagement qu'elles ont élaborées. Sont ensuite présentées des informations sur l'état de réaménagement des mines et usines de traitement par État.

L'examen qui suit est pour une large part emprunté au rapport de l'EPA, (1995) intitulé *A Technical Resource Document, Extraction and Beneficiation of Ores and Minerals, Volume 5, Uranium* (Document technique sur les ressources, Extraction et concentration des minerais et minéraux, volume 5, uranium).

### ***Commission de l'énergie atomique***

Aux termes de la Loi de 1946 sur l'énergie atomique, [*Atomic Energy Act of 1946*], la Commission de l'énergie atomique (AEC) a été créée pour administrer et réglementer la production et l'utilisation de l'énergie atomique. L'AEC était dotée de compétences visant la production de matières brutes (uranium et thorium), la recherche relative à la biologie, la santé et la métallurgie, et la production d'énergie électrique à partir de l'atome. La Loi de 1946 plaçait l'énergie atomique sous contrôle civil, bien que les matières et installations nucléaires soient maintenues entre les mains des pouvoirs publics. Des amendements à cette Loi adoptés en 1954 ont permis d'autoriser la propriété privée d'installations destinées à produire des matières fissiles, et en 1964, la propriété privée de combustibles nucléaires a été rendue licite, ce qui a aidé l'industrie électronucléaire en expansion.

Aux termes de la Loi sur la réorganisation dans le domaine de l'énergie [*Energy Reorganization Act*], d'octobre 1974, l'AEC a été supprimée et deux nouvelles agences fédérales ont été établies en

---

(Analyse des fuites dans certaines mines d'uranium exploitées *in situ* au Wyoming et au Texas). Rapport établi par W.P. Staub, N.E. Hinkle, R.E. Williams, F. Anastasi, J. Osiensky et D. Rogness.

31. *Ibid.*

vue d'administrer et de réglementer les activités liées à l'énergie atomique : l'Agence pour la recherche et le développement de l'énergie [*Energy Research and Development Administration – ERDA*] et la Commission de la réglementation nucléaire (NRC). En 1977, les compétences de la première ont été transférées au Ministère de l'énergie (DoE) nouvellement créé.

#### *Commission de la réglementation nucléaire (NRC)*

La NRC a pour mission d'assurer une protection appropriée de la santé et de la sécurité du public, la défense et la sécurité du pays, et la protection de l'environnement lors de l'utilisation des matières nucléaires aux États-Unis. Il incombe notamment à la NRC de réglementer les réacteurs nucléaires de puissance de type commercial, les réacteurs de recherche, d'essai et de formation non électrogènes, les installations du cycle du combustible, les utilisations médicales, universitaires et industrielles des matières nucléaires, ainsi que le transport, le stockage et l'évacuation des matières et déchets nucléaires. À ce titre, la NRC réglemente par le biais d'autorisations, les sites de traitement de l'uranium en exploitation ainsi que les sites d'évacuation des résidus de traitement de l'uranium après cessation des activités. Elle ne réglemente pas l'exploitation minière en soi de l'uranium, à l'exception des activités menées en surface en liaison avec l'exploitation minière par dissolution. La NRC établit ses procédures et critères visant la délivrance des autorisations afférentes à la réception de droits de propriété, à la réception, à la possession, à l'utilisation, au transfert ou à la livraison de matières brutes ou de produits radioactifs<sup>32</sup>. Le pouvoir d'édicter ces règles procède de l'AEA, du Titre II de la Loi de 1974 sur la réorganisation dans le domaine de l'énergie, et des Titres I et II de l'UMTRCA.

#### *Agence pour la protection de l'environnement (EPA)*

Créée par le Plan présidentiel de réorganisation N°3 de 1970 [*Presidential Reorganization Plan No. 3 of 1970*] et le Décret-loi 10831 [*Executive Order 10831*], l'Agence pour la protection de l'environnement (EPA) a regroupé les activités réglementaires du gouvernement fédéral. En ce qui concerne les rayonnements, l'EPA a réuni le Bureau de santé radiologique [*Bureau of Radiological Health*] de l'Administration de protection de l'environnement [*Environmental Control Administration*] (relevant antérieurement du Ministère de la santé, de l'éducation et du bien-être [*Department of Health, Education, and Welfare*]), ainsi que certaines fonctions liées à l'élaboration de critères et de normes en matière de rayonnements précédemment dévolues à la Commission de l'énergie atomique (AEC) et au Conseil fédéral sur les radiations [*Federal Radiation Council*].

En conséquence, l'EPA élabore des normes, fournit des orientations et définit des critères en vue de protéger le public et l'environnement de l'exposition aux rayonnements, et de dépolluer les sites présentant une contamination radioactive ; elle localise et évalue les sources nouvelles de rayonnements afin d'en déterminer l'importance éventuelle pour la santé publique, et prend part aux activités fédérales de préparation et d'intervention en cas d'urgence radiologique. Elle a élaboré des normes de radioprotection adoptées par le Ministère de l'énergie (DoE) et la Commission de la réglementation nucléaire (NRC) applicables à la fermeture des usines de traitement de l'uranium, des normes visant la radioprotection dans les dépôts géologiques destinés aux déchets nucléaires (Projet pilote de confinement des déchets [*Waste Isolation Pilot Project – WIPP*] et Installation d'études exploratoires de Yucca Mountain), des normes d'émission applicables au radon sur les sites d'usines de traitement de l'uranium, des limites maximales de contamination par les radionucléides et par rayonnements applicables à l'eau de boisson (en coopération avec l'Office des eaux de l'EPA), et des normes de dépollution des sols dans le cas des sols présentant une contamination radioactive. Les programmes de la Division de la radioprotection [*Radiation Protection Division*] sont actuellement

---

32. Titre 10 du Code de la réglementation fédérale (CFR), Partie 40 (1992).

axés sur les risques imputables aux substances radioactives naturelles technologiquement concentrées (TENORM), qui comprennent les morts-terrains, les minerais pauvres non exploités et déblais de foration contaminés résultant de l'exploitation minière de l'uranium. Les informations sur les volumes de déchets d'uranium et l'état des activités de réaménagement par État figurant dans le présent rapport proviennent de ce programme.

#### *Ministère de l'énergie (DoE)*

Le Ministère de l'énergie (DoE) a été créé par la Loi portant organisation du Ministère de l'énergie [*Department of Energy Organisation Act*] qui a réuni au sein d'un organisme unique la plupart des agences et programmes en matière d'énergie du gouvernement fédéral. Le Ministère de l'énergie, entré en service le 1er octobre 1977, a assumé les compétences de l'Administration fédérale de l'énergie [*Federal Energy Administration*], de l'Agence pour la recherche et le développement de l'énergie, de la Commission fédérale de l'énergie électrique [*Federal Power Commission*], et de certains programmes et parties de plusieurs autres organismes. Le DoE œuvre en vue d'accroître la diversité des options et sources d'énergie et de combustible aux États-Unis, d'amener sur le marché des sources d'énergie renouvelable, de renforcer la production intérieure de pétrole et de gaz, de soutenir la recherche sur les applications commerciales de l'énergie nucléaire et d'accroître l'efficacité énergétique. En ce qui concerne l'uranium, le DoE est responsable de la purification ainsi que du traitement, du stockage et de l'évacuation définitive dans des conditions de sûreté des déchets radioactifs, des matières nucléaires excédentaires et des combustibles nucléaires irradiés. Sont notamment inclus ceux qui subsistent sur les sites des installations d'armes nucléaires des États-Unis et sur les sites de recherche et de développement en matière d'énergie, ainsi que dans les usines qui ont produit l'uranium destiné aux armements et à l'électronucléaire au cours des décennies précédentes. Il lui incombe également d'exploiter l'installation de stockage des déchets nucléaires dans le cadre du Projet pilote de confinement des déchets (WIPP) et il étudie le site de Yucca Mountain dans le Nevada comme site éventuel de dépôt dans les formations géologiques pour le stockage des déchets nucléaires. Le Service d'information sur l'énergie [*Energy Information Administration – EIA*] est un service statistique créé au sein du Ministère de l'énergie par le Congrès en 1977. L'EIA a pour mission de collecter des données et de faire des analyses sur l'énergie qui contribuent à faciliter une meilleure appréhension des questions énergétiques par les entreprises, les pouvoirs publics et le grand public. À ce titre, il a compilé les données statistiques sur les activités de l'industrie de l'uranium aux États-Unis qui font partie du présent rapport.

#### *Ministère de l'intérieur des États-Unis, Service de l'exploitation minière à ciel ouvert*

Avec la promulgation de la Loi de 1977 sur le contrôle et le réaménagement des sites d'exploitation minière à ciel ouvert [*Surface Mining Control and Reclamation Act of 1977 – SMCRA*], le Service de l'exploitation minière à ciel ouvert [*Office of Surface Mining – OSM*] du Ministère de l'intérieur des États-Unis [*U.S. Department of Interior – DoI*] a assumé des responsabilités visant l'élaboration de la réglementation et des normes relatives à l'assainissement des mines de charbon en exploitation et abandonnées à l'échelle nationale. Par suite d'une redevance imposée à l'extraction de chaque tonne de charbon, on a établi un fonds de réaménagement susceptible d'être utilisé dans chaque État comportant des mines de charbon en vue du réaménagement des terrains des mines de charbon abandonnées et de la fermeture des accès de mines dangereux (galeries débouchant au jour et puits) dans d'autres types d'exploitations minières. Les États qui ont réaménagé avec succès les mines de charbon abandonnées dont ils ont hérité, pourraient utiliser ces fonds pour assainir d'autres mines abandonnées de roches dures, notamment les mines d'uranium. Cette formule a été utilisée au Wyoming et, par l'intermédiaire d'un accord passé avec l'OSM, elle est aussi utilisée par le gouvernement tribal des Navajos dans l'Arizona (voir plus loin).

## *Usine de traitement de l'uranium – État d'avancement du réaménagement*

### *Introduction*

La base qui sous-tend la réglementation fédérale régissant les usines de traitement de l'uranium est désormais le Titre 10 du Code de la réglementation fédérale, Partie 40 (plus spécifiquement l'Appendice A), édicté par la NRC, qui établit les normes régissant le confinement des sous-produits et déchets de la production de l'uranium (résidus de traitement, déchets dissous et autres résidus provenant du traitement et de la récupération de l'uranium). Ces normes mises au point par l'EPA, puis adoptées par la NRC, ont été établies après la cessation des activités sur des sites relevant du Titre I, mais elles s'appliquent à des sites relevant aussi bien du Titre I que du Titre II, également dans le cas du réaménagement et de la remise en état de ces sites. Depuis lors, un certain nombre de lignes d'action et de réglementations ont été mises en place en vue du réaménagement des sites d'usines de traitement de l'uranium, comme cela est précisé dans les références suivantes.

### *Usines relevant du Titre I*

Depuis les années 40, l'industrie du traitement de l'uranium a produit d'importantes quantités de résidus. Dans de nombreux cas, ces résidus ont été dispersés à partir des bassins de décantation et des entassements par des agents naturels et par des êtres humains à des fins de construction dans ou autour de bâtiments ou pour des routes. L'UMTRCA, qui en 1978 a porté amendement de l'AEA, a établi deux programmes en vue d'assurer la protection de la santé publique, de la sûreté et de l'environnement contre les résidus de traitement de l'uranium. Le Titre I de l'UMTRCA vise 22 sites définis par le Congrès (auxquels le DoE a ajouté deux autres) qui sont maintenant hors service (par exemple, toutes les activités de traitement ont cessé et le site ne fait pas l'objet d'une autorisation de la NRC). On trouvera ci-après la liste de ces sites.

<b>Sites relevant du Titre I de l'UMTRCA</b>	
Salt Lake City, Utah	Riverton, Wyoming
Green River, Utah	Converse County, Wyoming
Mexican Hat, Utah	Lakeview, Oregon
Durango, Colorado	Falls City, Texas
Grand Junction, Colorado	Tuba City, Arizona
Rifle, Colorado (deux sites)	Monument Valley, Arizona
Naturita, Colorado	Lowman, Idaho
Maybell, Colorado	Cannonsburg, Pennsylvanie
Slick Rock, Colorado (deux sites)	Edgemont, Dakota du Sud
Shiprock, Nouveau Mexique	Bowman/Belfield, Dakota du Sud
Ambrosia Lake, Nouveau Mexique	

Le Titre II de l'UMTRCA vise les sites en exploitation (ceux titulaires d'autorisations de la NRC ou d'États liés par un accord) (48 Fed. Reg. 45926).

Le processus de traitement génère d'importants volumes de résidus qui ont été évacués dans des bassins de décantation des résidus. Le  $^{226}\text{Ra}$ , le  $^{230}\text{Th}$ , et le  $^{222}\text{Rn}$  (gaz) sont les radionucléides présents dans les résidus de traitement de l'uranium, qui représentent le principal sujet de préoccupation pour la santé humaine et l'environnement et constituent un facteur déterminant dans l'élaboration de la réglementation applicable au réaménagement des sites de résidus de traitement.

Le Titre I définit les résidus se trouvant sur des sites de traitement de l'uranium après cessation des activités comme des substances radioactives résiduelles. Il exige l'assainissement des résidus se

trouvant en dehors des sites et la maîtrise à long terme des tas de résidus. Le DoE a été chargé de réaménager ces sites spécifiés, avec la pleine coopération et participation des États, afin de parvenir à la conformité aux normes prescrites par l'EPA. L'EPA a édicté des normes sanitaires et environnementales finales régissant la stabilisation, le contrôle et la dépollution des substances radioactives résiduelles (principalement des résidus de traitement) de trouvant sur les sites de traitement de l'uranium après cessation des activités<sup>33</sup>. Le DoE doit respecter ces normes lorsqu'il réaménage des sites relevant du Titre I.

L'EPA a édicté des normes visant deux types d'actions correctives : celles relevant de la maîtrise et celle relatives à l'assainissement. La maîtrise consiste à placer les résidus dans une situation qui réduira au minimum les risques qu'ils présentent à long terme pour les êtres humains. L'assainissement réduit les risques sanitaires potentiels imputables aux résidus dispersés. Toutes les actions correctives doivent être choisies et exécutées avec le concours de la NRC. Après achèvement des actions correctives sur les 24 sites spécifiés, la NRC doit délivrer une autorisation en vue de garantir que la santé publique et l'environnement sont protégés. Cette autorisation peut exiger que le DoE procède à la surveillance, à l'entretien ou à toute autre intervention que la NRC juge nécessaire<sup>34</sup>.

La Loi de 1988 portant modifications des actions correctives relatives aux résidus de traitement de l'uranium [*Uranium Mill Tailings Remedial Action Amendments Act of 1988*] prévoit une prolongation du délai imparti, en vertu du Titre I de l'UMTRCA, au DoE pour parachever le réaménagement des 24 sites spécifiés. Elle laissait au DoE jusqu'au 30 septembre 1994 (précédemment 1990) pour exécuter les actions correctives sur les sites spécifiés. Le pouvoir de procéder à la restauration de la qualité des eaux souterraines a été prorogé sans limitation. En 1995, l'EPA a pris un règlement final pour corriger et prévenir la contamination par des résidus d'uranium des eaux souterraines en dessous et au voisinage des sites de traitement de l'uranium après cessation des activités<sup>35</sup>. Ce règlement s'applique aux résidus se trouvant sur les 24 sites qui remplissent les conditions requises pour une action corrective. Il stipule que les résidus doivent être stabilisés et contrôlés d'une manière qui élimine ou réduise au minimum la contamination des eaux souterraines se trouvant sous les résidus stabilisés de façon à protéger la santé humaine et l'environnement. Il prévoit aussi l'assainissement de la contamination qui est intervenue avant que les résidus ne soient stabilisés. Le règlement instaure également des normes de protection des eaux souterraines, qui comportent une liste de constituants dangereux spécifiques ayant trait à chaque zone de gestion des déchets, une limite de concentration pour chaque constituant dangereux, le point d'observation de la conformité et la période d'observation de la conformité.

L'EPA a édicté des normes finales visant le contrôle des substances radioactives résiduelles provenant de sites non opérationnels de traitement de l'uranium spécifiés au Titre I de l'UMTRCA dans la Sous-Partie A du Titre 40 CFR, Partie 192. Cette Sous-Partie A a pour objet d'assurer la stabilisation et le confinement à long terme afin d'empêcher l'utilisation abusive et la dissémination des substances radioactives résiduelles, de contrôler la libération de radon dans l'air, et de protéger l'eau. Ces normes exigent que le réaménagement :

- Soit conçu pour être efficace pendant une durée atteignant un millier d'années, dans la mesure où cela est raisonnablement réalisable, cette durée ne pouvant toutefois pas être inférieure à 200 ans.

---

33. 40 CFR, Partie 192 (1992).

34. 55 Fed. Reg. 45591 (1990).

35. 60 Fed. Reg. 2854 (1995).

- Offre une assurance raisonnable que les quantités de  $^{222}\text{Rn}$  libérées dans l'atmosphère à partir des substances radioactives résiduelles n'excéderont pas un taux moyen d'émission de 20 picocuries(pCi)/m<sup>2</sup>/s.
- Offre une assurance raisonnable que les quantités de  $^{222}\text{Rn}$  libérées à partir des substances radioactives résiduelles n'augmenteront pas la concentration moyenne annuelle de  $^{222}\text{Rn}$  dans l'air de plus d'une demie picocurie par litre.

En vertu de la Sous-Partie B du Titre 40 CFR, Partie 192, l'EPA a édicté des normes finales visant l'assainissement des sols et des bâtiments contaminés par des substances radioactives résiduelles sur les 24 sites hors service spécifiés de traitement de l'uranium. L'EPA a exigé que des actions correctives soient menées afin d'offrir l'assurance raisonnable que, du fait des substances radioactives résiduelles provenant de l'un quelconque des sites de traitement spécifiés<sup>36</sup> :

- La concentration de radium-226 dans le sol, déterminée en moyenne sur toute surface de 100 m<sup>2</sup> ne dépassera pas le niveau du fond naturel de plus de :
  - 5 picocuries par gramme (pCi/g), en moyenne sur les 15 premiers centimètres du sol en dessous de la surface ;
  - 15 pCi/g en moyenne sur des couches de sol de 15 cm d'épaisseur, au-delà de 15 cm en dessous de la surface.
- Dans tout bâtiment occupé ou habitable :
  - Les actions correctives auront pour objectif de parvenir à une concentration annuelle moyenne de produits de filiation du radon (y compris le fond de rayonnement) qui ne dépasse pas 0,02 n (niveau opérationnel) et des efforts raisonnables seront déployés en vue d'y parvenir. En tout état de cause, la concentration de produits de filiation du radon, y compris le fond de rayonnement ne doit pas dépasser 0,03 n<sup>37</sup>.
  - Le niveau de rayonnement gamma n'excédera pas celui du fond de rayonnement de plus de 20 microontgens par heure.

La Sous-Partie C du Titre 40 CFR, Partie 192 habilite le DoE, avec le concours de la NRC, à appliquer des normes additionnelles en lieu et place des normes visées dans les Sous-Parties A et B. Avant de recourir à ces normes additionnelles, certaines conditions doivent être réunies ; par exemple, les actions correctives requises pour satisfaire les Sous-Parties A ou B présenter aient un risque manifeste de dommages corporels pour les travailleurs ou des personnes du public.

Parmi les instructions supplémentaires visant le réaménagement de ces usines de traitement, figurent les suivantes :

- Un plan standard d'examen [*Standard Review Plan*] applicable aux projets d'actions correctives visant les résidus de traitement relevant du Titre I de l'UMTRCA, NRC, 1985 ; un avis technique du personnel [*Staff Technical Position*] sur les plans d'essais et d'inspection au cours de la mise en œuvre des mesures correctives du DoE sur les sites hors service de résidus de traitement, Rev 2, NRC, 1989.

---

36. 40 CFR, Partie 192(b) (1992).

37. n (niveau opérationnel) est défini comme étant « Toute combinaison de produits de filiation du radon à vie courte dans un litre d'air qui aura pour résultat l'émission finale de particules alpha ayant une énergie totale de 130 milliards d'électrons volts ( $1,3 \times 10^5$  MeV) » (40 CFR, Partie 192).

- Une formule et un descriptif types pour la documentation relative au choix de mesures correctives [*Standard Format and Content for Documentation of Remedial Action Selection*] sur les sites de résidus d'uranium relevant du Titre I, NRC, 1989 ; et un document d'approche technique [*Technical Approach Document*], Rev II, UMTRA-DoE/AL 050425.0002, DoE, 1989.

### *Usines de traitement relevant du Titre II*

Le Titre II de l'UMTRCA s'applique aux installations de résidus de traitement de l'uranium actuellement en exploitation, qui font l'objet d'autorisations délivrées par la NRC ou un État lié par un accord. Le Titre II régleme les sous-produits et déchets de la production d'uranium, tels que les résidus de traitement présents sur les sites en exploitation. Le programme visé dans le Titre II contient des prescriptions applicables à l'évacuation définitive des résidus, au contrôle des effluents rejetés dans les eaux souterraines et aux émissions de radon pendant et après les opérations de traitement. L'UMTRCA impose à l'EPA d'établir des normes applicables aux sites en exploitation d'une manière conforme aux normes établies en vertu du Sous-Titre C de la Loi sur l'évacuation des déchets solides [*Solid Waste Disposal Act*] modifiée<sup>38</sup>. Cependant, les résidus en tant que substance sont exemptés de l'application de la réglementation prise par l'EPA en vertu du Sous-Titre C de la Loi sur la préservation et la restauration des ressources [*Resource Conservation and Recovery Act – RCRA*]<sup>39</sup>.

Les prescriptions en matière d'établissement de normes se divisent en deux parties. La première partie s'applique à la gestion des résidus pendant la durée de vie active du tas et pendant la période ultérieure de fermeture, qui commence après la cessation des activités de traitement, mais qui se situe avant l'achèvement de l'évacuation définitive. La seconde partie fixe les normes applicables après la fermeture des tas, qui régissent la conception des systèmes d'évacuation<sup>40</sup>. Le site doit être fermé d'une manière conforme aux normes en vigueur de la NRC, avant que la NRC ou l'État lié par un accord mette fin à l'autorisation d'exploitation ou délivre une autorisation de prise en charge à long terme<sup>41</sup>. La NRC exige un plan de surveillance à long terme détaillé [*Long-Term Surveillance Plan – LTSP*] de la part du DoE ou d'un État approprié qui prend en compte la propriété (soit fédérale, soit de l'État), les conditions dans lesquelles se trouve le site d'évacuation, le programme de surveillance, les inspections de suivi requises, et la façon dont et le moment où les travaux de réparation d'urgence et si nécessaire l'entretien prévu seront exécutés<sup>42</sup>.

En 1983, l'EPA a proposé des normes générales en matière d'environnement applicables aux sites de résidus de traitement de l'uranium et du thorium, titulaires d'une autorisation de la NRC ou d'un des États liés par un accord<sup>43</sup>. La NRC a publié des amendements au Titre 10 du Code de la réglementation fédérale, article 40 afin d'aligner ses règlements sur les normes générales de l'EPA figurant dans le Titre 40 du Code de la réglementation fédérale, article 192, car elles influent sur des

---

38. 42 USC, articles 6901-6992k.

39. Aucun permis n'est requis par l'EPA pour l'évacuation de produits radioactifs. 42 USC, article 2022(b)(2). En outre, les résidus d'uranium sont exemptés de l'application de la réglementation prise en vertu du Sous-Titre C de la RCRA (déchets dangereux) par le Titre 40 du Code de la réglementation fédérale, article 261.4(b)(7) (1992).

40. 58 Fed. Reg. 32174 (1993).

41. 55 Fed. Reg. 45591 (1990).

42. *Ibid.*

43. 48 Fed. Reg. 19584 (1983). Les normes définitives ont été publiées dans 48 Fed. Reg. 45926 (1983) et codifiées dans le Titre 40 CFR, Partie 192(D) et (E).

aspects autres que la protection des eaux souterraines<sup>44</sup>. L'EPA a édicté une réglementation finale dans la Sous-Partie D du Titre 40 du Code de la réglementation fédérale, article 192, afin d'établir les normes applicables à la gestion des sous-produits et déchets de la production d'uranium se trouvant sur des sites relevant du Titre II, conformément à l'article 84 de l'AEA, modifiée.

Les sous-produits et déchets de la production d'uranium comprennent les résidus ou produits résultant de l'extraction ou de la concentration de l'uranium. Les normes finales portent à la fois sur les opérations de traitement du minerai d'uranium et sur la phase de fermeture et post-fermeture des installations de gestion des sous-produits et déchets de la production d'uranium. Les normes applicables aux opérations de traitement du minerai d'uranium exigent :

- Que les bassins de décantation renfermant des sous-produits et déchets de la production d'uranium, tels que des résidus, respectent les critères de conception établis par l'EPA pour les propriétaires et les exploitants d'installations de traitement, de stockage et d'évacuation de déchets dangereux<sup>45</sup>.
- Que la gestion des sous-produits et déchets de la production d'uranium respecte :
  - une norme de 5 pCi/l pour <sup>226</sup>Ra et <sup>228</sup>Ra considérés conjointement ;
  - une norme de 15 pCi/l d'activité brute des particules alpha (à l'exclusion du radon et de l'uranium) pour les eaux souterraines ;
  - les normes de protection des eaux souterraines<sup>46</sup> et les prescriptions en matière de surveillance<sup>47</sup> qui ont été établies pour les propriétaires et les exploitants d'installations de traitement, de stockage et d'évacuation de déchets dangereux ;
  - les normes de radioprotection de l'environnement applicables aux entreprises électro-nucléaires [*Environmental Radiation Protection Standards for Nuclear Power Operations*]<sup>48</sup> ; et
  - s'agissant de la catégorie des sources ponctuelles imputables à l'extraction et à la préparation du minerai : les Directives en matière de limitation des effluents et les nouvelles normes de performances des sources [*Effluent Limitations Guidelines and New Source Performance Standards*], Sous-Partie C, Sous-Catégorie des minerais d'uranium, de radium, et de vanadium<sup>49</sup>.

Les installations de gestion des sous-produits et déchets de la production d'uranium doivent respecter les prescriptions suivantes visant les phases de fermeture et de post-fermeture :

- Les prescriptions en matière de risques non radiologiques pendant les phases de fermeture et de post-fermeture, qui ont été édictées par l'EPA pour les installations de traitement, de stockage et d'évacuation des déchets dangereux<sup>50</sup>.

---

44. 50 Fed. Reg. 41852 (1985).

45. 40 CFR., Partie 264.221 (1992).

46. 40 CFR., Partie 264.92 (1992).

47. 40 CFR., Partie 264.98 (1992).

48. 40 CFR., Partie 190 (1992).

49. 40 CFR., Partie 440 (1992).

50. 40 CFR., Partie 264.111 (1992).



- Les zones d'évacuation doivent être conçues de manière à offrir l'assurance raisonnable d'un contrôle efficace des risques radiologiques pendant au moins 200 ans.
- Les zones d'évacuation doivent être conçues afin de limiter les libérations dans l'atmosphère de  $^{222}\text{Rn}$  à partir des sous-produits et déchets de la production d'uranium de manière à ce qu'elles n'excèdent pas un taux d'émission moyen de  $20 \text{ pCi/m}^2/\text{s}$  (norme identique à celle applicable aux sites relevant du Titre I). Cette prescription n'est toutefois pas applicable à toute portion d'un site d'évacuation qui renferme une concentration of  $^{226}\text{Ra}$  qui, provenant d'un sous-produit ou déchets de la production d'uranium, ne dépasse pas le niveau du fond de rayonnement de plus de :
  - 5 pCi/g, en moyenne sur les 15 premiers centimètres en dessous de la surface ;
  - 15 pCi/g, en moyenne sur des couches de 15 cm d'épaisseur au-delà de 15 cm en dessous de la surface.

On trouvera des règles supplémentaires couvrant ces usines de traitement dans :

- *A Rulemaking Issue (Affirmation) : Amendments to 10 CFR Part 40 for General Licenses for the Custody and Long-Term Care of Uranium and Thorium Mill Tailings Disposal Sites* (Problème d'élaboration des règlements (confirmation) : Amendements au Titre 10 du Code de la réglementation fédérale, Partie 40 relatif aux autorisations générales visant la garde et la prise en charge à long terme des sites d'évacuation des résidus de traitement de l'uranium et du thorium), USNRC SECY-90-282, 1990.
- *A Draft Standard Review Plan for the Review of a Reclamation Plan for Mill Tailings Sites Under Title II of the Uranium Mill Tailings Radiation Control Act* (Projet de plan standard d'examen pour l'examen d'un plan de réaménagement des sites de résidus de traitement relevant du Titre II de l'UMTRCA), USNRC NUREG-1620, 1999.

#### *Toutes les installations de traitement*

Parmi les règlements de la NRC applicables à ces exploitations, figurent notamment :

- *A Calculation of Radon Flux Attenuation by Earthen Uranium Mill Tailings Covers* (Calcul de l'atténuation du flux de radon par des couvertures en terre des résidus de traitement de l'uranium), USNRC, Reg. Guide 3.64, 1989.
- *A Design of Erosion Protection for Long-Term Stabilisation* (Conception de la protection contre l'érosion en vue d'une stabilisation à long terme), USNRC NUREG-1623, 1999.
- *A Uranium Mill Tailings Management Position* (Prise de position sur la gestion des résidus de traitement de l'uranium), USNRC, 1989.

La NRC a établi de nombreux autres guides et avis techniques du personnel qui traitent de l'estimation et du cautionnement des coûts de réaménagement, de même que des aspects techniques du confinement des produits radioactifs, de la protection contre l'érosion, des études radiologiques, et de la surveillance.

La NRC est l'organisme de réglementation compétent en ce qui concerne le réaménagement et la gestion du point de vue de l'environnement des usines de traitement et des sites d'usines dans les États non liés par des accords (autrement dit, le Nouveau Mexique, l'Utah, le Wyoming, le Dakota du Nord, le Dakota du Sud, l'Idaho, l'Oregon). Les États liés par un accord (le Texas, le Colorado, et l'État de Washington) sont investis de cette compétence, selon les orientations et avec l'assentiment de la NRC.

Les prescriptions en matière de réaménagement et de gestion du point de vue de l'environnement des États liés par des accords sont pour l'essentiel identiques à celles de la NRC telles qu'elles sont mentionnées plus haut.

### *Mines d'uranium classiques*

#### *Introduction*

L'exploitation minière de l'uranium et le réaménagement sont réglementés par les États plutôt que par le Gouvernement fédéral. Chaque État dispose de sa propre législation et réglementation, et celles-ci sont différentes dans chaque État. Cependant, tous les États producteurs d'uranium, à l'exception de l'Arizona, ont établi des critères de performance spécifiques que les mines doivent respecter une fois achevés les travaux de réaménagement. Les normes de l'Arizona sont plus générales et se fondent sur la protection des ressources en eau. La réglementation en vigueur varie : dans certains cas, elle est spécifique, comme celle de l'État de Washington visant les hauteurs/profondeurs et les pentes maximales des puits à ciel ouvert et des tas de stériles ; dans d'autres elle est moins spécifique, comme les normes du Nouveau Mexique qui exigent que le réaménagement conçu en vue de la protection de l'environnement soit compatible avec l'utilisation spécifiée des sols après exploitation minière. Les sources et références suivantes se rapportent aux politiques et réglementations en matière de réaménagement de chaque État.

#### *Volumes de stériles et sites de réaménagement*

L'extraction des minerais d'uranium par des méthodes tant en souterrain qu'en surface a produit d'importantes quantités de déchets volumineux, notamment de terre végétale extraite, de stériles provenant des morts-terrains, de stériles faiblement enrichis en uranium, et de minerais pauvres (ou protominerai). Dans l'exploitation minière à ciel ouvert, la terre végétale est le sol naturel qui recouvre la zone occupée par la mine et les morts-terrains comprennent les matériaux se trouvant entre la terre végétale et le gîte uranifère. L'exploitation minière à ciel ouvert génère en général plus de déchets que l'exploitation minière souterraine, principalement à cause de l'enlèvement des morts-terrains. Les protominerais renferment des quantités notables d'uranium, mais à des teneurs inférieures à celles justifiant leur traitement immédiat en usine. Les protominerais sont souvent stockés sur le site en vue d'un éventuel traitement ultérieur. Les quantités de ces matériaux ainsi produites dépendent de plusieurs facteurs, notamment du prix de l'uranium, des prévisions relatives à ce prix, du type de méthode d'exploitation minière, des teneurs des minerais, des coûts de récupération et de traitement, ainsi que d'autres facteurs liés aux exploitations minières. Ces facteurs varient suivant les emplacements des mines et la demande d'uranium. Par exemple, les minerais exploités entre 1987 et 1996 ont présenté des concentrations d'uranium (mesurées en pourcentage d' $U_3O_8$  du minerai) qui ont varié, ne dépassant pas dans certains cas 0,198 % pour atteindre dans d'autres 0,52 %<sup>51</sup>. La concentration d'uranium trouvée dans d'autres matériaux qui sont traités, à l'instar des minerais pour récupérer de l'uranium de valeur, tels des protominerais, des exhaures et eaux résiduelles, et des déchets issus du réaménagement des mines et installations de traitement, n'est pas indiquée par l'industrie<sup>52</sup>.

---

51. Energy Information Administration (1997), *Uranium Industry Annual* (Annuaire de l'industrie de l'uranium), Ministère de l'énergie des États-Unis, DOE/EIA-0478 (96).

52. *Ibid.*

## État d'avancement du réaménagement

L'EPA<sup>53</sup> a constaté que les mines faisant l'objet de prescriptions des États en matière de réaménagement ont été réaménagées, mais qu'elles ne représentent encore qu'une petite fraction du total. L'EPA a estimé que les morts-terrains provenant des mines à ciel ouvert représentent au total de 1 à 8 milliards de tonnes, la moyenne se situant à 3 milliards de tonnes. Pour les mines souterraines, les estimations vont de 5 à 100 millions de tonnes, avec une moyenne pour toutes les estimations de 67 millions de tonnes. Cependant, il y a un certain nombre de mines non déclarées ou non autorisées, de puits d'exploration et de galeries de mines dans les États producteurs d'uranium dont les déchets ne sont pas inclus dans ces estimations et pourraient représenter des volumes importants. Les déchets produits par l'exploitation à ciel ouvert sont supérieurs d'un facteur de 45 à ceux résultant de l'exploitation minière souterraine, sur la base de leurs moyennes respectives.

Deux techniques principales de réaménagement sont utilisées, à savoir la Classe I et la Classe II<sup>54 55</sup>. Le réaménagement de Classe I est défini comme le remblayage complet de la mine, suivi de la remise en place de la terre végétale, d'un remodelage et d'une revégétalisation. Il est présumé qu'après un réaménagement de Classe I, le site est rendu à son état d'origine ou quasi d'origine, et que les possibilités d'exposition du public ont virtuellement été éliminées. Un réaménagement de Classe II consiste en général à remodeler, à adoucir les pentes, à taluter, à mettre en place la terre végétale et à revégétaliser les tas de stériles et les mines à ciel ouvert, alors que les stériles ne sont pas nécessairement replacés dans les zones excavées. On estime que les morts-terrains non réaménagés, générés entre 1948 et 1988, représentent 3,1 milliards de tonnes, et se répartissent comme suit :

Catégorie de mine	Morts-terrains non réaménagés (10 <sup>9</sup> tonnes)			
	Classe I	Classe II	Non réaménagés	Total
< 900 t	0	0	0,0031	0,0031
900 à 90 000 t	0	0,02	0,13	0,15
> 90 000 t	0	0,73	2,2	2,9
Total	0	0,75	2,3	3,1

La proportion entre les réaménagements de Classe I et les réaménagements de Classe II pour le nombre de mines considérées n'a probablement pas changé avec les travaux de réaménagement qui ont été réalisés depuis 1989.

- 
53. U.S. Environmental Protection Agency, en préparation, *Uranium Mining Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Materials* (Substances radioactives naturelles technologiquement concentrées du fait de l'exploitation minière de l'uranium), Washington, DC.
  54. Cohen S. and Associates Inc. (1989), *Radiological Monitoring at Inactive Surface Mines* (Surveillance radiologique sur les sites de mines à ciel ouvert après cessation des activités), rapport établi à l'intention de l'EPA.
  55. U.S. Environmental Protection Agency (1989), *A Background Information Document – Proposed NESHAP's Regulations for Radionuclides* (Document d'information de base – Proposition de réglementation en vertu des Normes nationales applicables aux émissions de polluants atmosphériques dangereux, applicable aux radionucléides), projet de rapport établi à l'intention de l'EPA, 520/1-89-006.

## Colorado

Des compilations exhaustives ont été publiées dans le cas du Colorado concernant les indices, zones et mines de minéraux radioactifs, décrivant la plupart des mines d'uranium, leur géologie et l'histoire des débuts de leur exploitation, ainsi que la production. Des travaux de découverte en auréole ont été exécutés dans de nombreuses zones du plateau du Colorado. Dans ce type d'exploitation minière à ciel ouvert, le corps minéralisé se présente à la surface ou près de cette dernière le long du rebord d'un canyon. Les mineurs enlèvent la couche superficielle de morts-terrains recouvrant le gîte et précipitent généralement les déblais en bas de la paroi du canyon adjacent. Étant donné la multiplicité des zones d'intérêt modeste et la présence largement répandue de l'uranium dans cet État, on y a dénombré approximativement 1 200 mines (près du tiers des mines d'uranium existant aux États-Unis). L'EPA<sup>56</sup> a estimé qu'un sixième de ces mines étaient exploitées en souterrain. Des études exécutées par cet organisme en 1989 ont montré que sur les 12 mines qui ont produit de 900 à 90 000 tonnes de minerai, seules trois avaient été réaménagées, alors qu'une seulement des 4 mines ayant produit plus de 90 000 tonnes l'a été.

D'une façon générale, seules quelques-unes des propriétés minières actuellement abandonnées, qui étaient en exploitation après le milieu des années 70, ont été réaménagées ou font actuellement l'objet d'activités de réaménagement. Le Département de l'énergie à Grand Junction dispose d'un programme de réaménagement visant les propriétés abandonnées se trouvant sur d'anciennes zones de recherche concédées par la Commission de l'énergie atomique. La quantité de déchets inventoriée sur les terrains de l'AEC a été estimée à 190 000 m<sup>3</sup> et, au cours de 1994, environ 27 000 m<sup>3</sup> de déchets ont fait l'objet de travaux de réaménagement<sup>57</sup>. Cet inventaire ne tient pas compte des propriétés de sociétés en activité sur ces concessions. Les tas de déchets représentent dans la plupart des cas de 800 à 4 000 m<sup>3</sup>. Le plus gros producteur dans le district minier d'UraVan a eu recours à UMETCO pour les travaux de réaménagement.

Un réaménagement classique sur un site minier dans la zone de minéralisation d'UraVan consiste à utiliser des matériaux à activité gamma élevée (stocks de minerai, tas de minerai pauvre, produits de décapage des aires de stockage de minerais) pour remblayer des galeries débouchant au jour, des puits, des fosses et des tranchées d'accès à la mine souterraine. Les pentes des tas de déchets de faible activité sont adoucies. Si le tas de déchet présente une repousse notable de la végétation, il est laissé non remanié.

Le contrôle par l'État des activités de réaménagement est exécuté par l'Office de réaménagement des terrains miniers de la Division des minéraux et de la géologie du Département des ressources naturelles [*Department of Natural Resources, Division of Minerals and Geology, Mined Land Reclamation Board*].

La partie de la législation applicable en l'occurrence est la Loi sur le réaménagement des terrains miniers [*Mined Land Reclamation Act*] comme le stipule l'article 34-32-102 des lois révisées du Colorado – Règlements régissant l'exploitation minière des roches dures et des métaux [*Hard Rock/Metal Mining, Rules and Regulations*].

---

56. U.S. Environmental Protection Agency (1983), *A Potential Health and Environmental Concern of Uranium Mine Wastes* (Les déchets des mines d'uranium : une source possible de préoccupations en matière de santé et d'environnement), Rapport au Congrès, EPA 520/1-83-007.

57. Cotter Ed., DoE (1998), communication orale.

## *Nouveau Mexique*

L'exploitation minière de l'uranium au Nouveau Mexique a principalement eu pour cadre des mines à ciel ouvert et des mines souterraines de dimensions moyennes à très grandes. Environ 50 % de la production d'uranium (exprimée en livres d'oxyde d'uranium) ont eu pour origine chacun de ces deux secteurs, avec cependant des teneurs légèrement supérieures dans les mines souterraines. Les mines à ciel ouvert ont produit des tonnages plus élevés de minerai et une proportion beaucoup plus importante de déchets. Environ 50 à 75 % de la totalité des déchets des mines d'uranium ont fait l'objet d'un réaménagement dans l'État du Nouveau Mexique<sup>58</sup>. Par exemple, la mine à ciel ouvert de Jackpile-Paguata avec ses 364 millions de tonnes de déchets a été entièrement réaménagée.

L'organisme de réglementation de l'État est le Département de l'énergie, des minéraux et des ressources naturelles [*Department of Energy, Minerals and Natural Resources*] notamment la Division de l'exploitation minière et des minéraux], par le biais du Programme de réaménagement en vertu de la Loi minière. Ses activités sont couvertes par la Loi minière du Nouveau Mexique [*New Mexico Mining Act*], 19 NMAC 10.2 ; Sous-Partie 5, Articles 506 et 507 du Règlement.

## *Texas*

D'après l'EPA<sup>59</sup>, la Section des terrains miniers abandonnés du Texas [*Texas Abandoned Mine Lands (AML) Section*] de la Division de l'exploitation et du réaménagement des mines à ciel ouvert [*Surface Mining and Reclamation Division*] a entrepris en 1988 de dresser l'inventaire des sites des mines d'uranium abandonnées au Texas et de fixer des priorités les concernant du point de vue de l'environnement<sup>60</sup>. Les sites miniers étudiés étaient ceux qui ont été abandonnées ou ont cessé leurs activités avant la promulgation de la Loi de 1975 sur l'exploitation et le réaménagement des mines d'uranium au Texas [*Texas Uranium Mining and Reclamation Act of 1975*] qui exige la remise en état des mines d'uranium. Cette enquête a étudié 18 propriétés minières dans trois zones des comtés de Karnes, Atosca, et Live Oak, dans le sud du Texas, qui avaient cessé leurs activités ou étaient abandonnées. Des travaux de réaménagement étaient déjà en cours sur l'un des sites recensés et étudiés. Toutes les mines à ciel ouvert, dont les exploitants étaient tenus d'assurer le réaménagement, ont été réaménagées. Les travaux de réaménagement d'exploitations minières à ciel ouvert à la charge de sociétés et de l'AML étaient achevés à environ 70 % dans l'État du Texas en 1998.

Au Texas, le principal organisme de réglementation est la Division de l'exploitation et du réaménagement des mines à ciel ouvert de la Commission des chemins de fer du Texas [*Texas Railroad Commission*]. La réglementation applicable en l'occurrence a pour titre : *Uranium Mining Rules* (Règlement d'exploitation minière de l'uranium), Code administratif du Texas, Titre 16, Partie 11.71 *et seq* ; *Surface Mining and Reclamation Act* (Loi sur l'exploitation et le réaménagement des mines à ciel ouvert), Annexe au Code des ressources naturelles du Texas, Partie 131 *et seq*.

---

58. McLemore V. (1998), communication orale à l'EPA.

59. U.S. Environmental Protection Agency, en préparation, *Uranium Mining Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Materials*, Washington, DC.

60. Railroad Commission of Texas (Commission des Chemins de fer du Texas) (1994), *South Texas uranium district abandoned mine and inventory* (Inventaire des mines abandonnées du district uranifère du sud du Texas) : Surface Mining and Reclamation Division, Railroad Commission of Texas, 171 p.

## Utah

Sur la base des études exécutées par l'EPA, les exploitations minières dans l'Utah seraient de type mixte, avec d'abord une exploitation à ciel ouvert des parties superficielles des corps minéralisés, puis le creusement de galeries débouchant au jour ou de descenderies à partir de la partie inférieure de l'excavation afin de suivre le minerai sous terre. L'Utah a procédé à certains travaux de réaménagement de mines se trouvant sur des propriétés minières d'uranium abandonnées dans cet État. Ces travaux ont surtout consisté à dresser l'inventaire et à fermer des ouvertures des mines (à des fins de sécurisation matérielle). On a dénombré environ 2 000 ouvertures de mines souterraines d'uranium. D'après une estimation grossière, une ouverture de mine moyenne s'accompagne d'un tas de déchets de 1 000 m<sup>2</sup>. En admettant que les tas ont en moyenne 2 m de hauteur, le volume total de déchets correspondant à l'ensemble des mines souterraines d'uranium dans l'Utah serait de 4 millions de m<sup>3</sup>, soit 8 millions de tonnes. Il est possible d'obtenir des estimations plus précises des volumes de déchets pour l'Utah, car de telles données existent dans les archives de l'État, cependant aucune synthèse de ces données n'a été publiée. Les travaux de réaménagement de ces mines généralement d'importance réduite n'ont pas débuté, bien que l'obturation des ouvertures et la mise en place de barrières afin d'assurer la sécurité matérielle soient en cours.

Des travaux de réaménagement menés par les sociétés exploitantes ont eu lieu dans certaines grandes mines, notamment celles de Yellow Cat et de Mi-Veda, et dans des mines situées dans la zone de Lisbon Valley.

Le principal organisme réglementaire est le Département des ressources naturelles [*Department of Natural Resources*], notamment sa Division du pétrole, du gaz et des mines [*Division of Oil, Gas, and Mining*]. Il intervient en vertu de la Loi sur le réaménagement des terrains miniers [*Mined Land Reclamation Act*], Titre 40-8, et de la Réglementation générale ainsi que des Règles de pratique et de procédure [*General Rules and Rules of Practice and Procedure*] R 647-1 à R 647-5 inclus.

## État de Washington

Seules des activités réduites d'exploitation minière ont été menées dans l'État de Washington, 3 mines étant répertoriées dans cet État. La plus grande de ces mines, Midnite Mine sur les terres de la Tribu indienne de Spokane, fait actuellement l'objet d'activités de dépollution dans le cadre de la mise en œuvre du « Superfund » de l'EPA. Dans cet État, le principal organisme de réglementation est le Département d'écologie [*Department of Ecology*], qui intervient en vertu de la législation figurant dans le chapitre 78.44 du Revised Code of Washington (RCW).

## Wyoming

D'après l'étude de l'EPA<sup>61</sup>, un premier inventaire des sites portant sur environ 50 à 60 % de l'ensemble des sites connus remplissant les conditions requises pour tous les types d'exploitations minières a été réalisé par l'État en 1984. Les conditions requises en matière de réaménagement sont déterminées par la date de l'abandon ou de la déclaration de cessation d'activité de la propriété minière. À la fin de 1994, des sites de mines d'uranium représentant 3200 acres (1 295 hectares) avaient été réaménagés, 37,6 millions de m<sup>3</sup> de déchets ayant été enlevés moyennant un coût total de

---

61. U.S. Environmental Protection Agency, en préparation, *Uranium Mining Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Materials*, Washington, DC.

40,85 millions d'USD. Le réaménagement consiste en un remblayage et remodelage afin d'éliminer les hautes parois dangereuses, de restaurer la résistance à l'érosion, et de rendre ces terrains à un usage de pâturage pour le cheptel et la faune. Les tas de déchets font l'objet d'études de la radioactivité par des levés en surface et des sondages.

Les mines à ciel ouvert sont remblayées à l'aide de matériaux provenant des tas de stériles, des matériaux faiblement radioactifs étant utilisés pour remplir l'excavation en dessous du niveau estimé de la nappe phréatique, des matériaux plus radioactifs pour la zone comprise entre la nappe phréatique et juste en dessous de la surface remodelée, et des matériaux faiblement radioactifs pour la zone en surface. De la terre végétale est mise en place au-dessus de ce remblayage en vue de la revégétalisation. Certains tas de déchets de faible activité peuvent être laissés en place et être remodelés afin d'adoucir les pentes et de permettre la remise en végétation.

Le principal organisme de réglementation dans le Wyoming est le Département de la qualité de l'environnement [*Department of Environmental Quality*], Division de la qualité des terres [*Land Quality Division*] et la Division des mines abandonnées [*Abandoned Mines Division*]. La partie de la législation ou la réglementation applicables sont : W.S. 35-11-406 (a-d) ; Directive 12 (bond) et Chap. 2, 3, 4, 7 ; Normes de performance en matière de protection de l'environnement [*Environmental Protection Performance Standards*], Règles ne s'appliquant pas au charbon [*Non-coal Rules*] Chap. III et IX (b)

### Arizona

D'après l'EPA<sup>62</sup>, l'exploitation minière de l'uranium en Arizona a principalement été opérée sur des terres Navajo dans le nord-est de l'État et dans des mines souterraines sur des gisements en remplissage de cheminées bréchiques au nord et à l'intérieur du parc national du Grand Canyon. La production sur les terres Navajo est surtout intervenue avant 1980. La production totale antérieure à 1980 en Arizona représente 3 295 846 tonnes de minerai<sup>63</sup>, et un peu moins de la moitié de la production provenait de quatre mines. On estime que l'on a dénombré approximativement 1 100 mines sur des terres Navajo, en majorité en Arizona, encore qu'elles soient nombreuses au Nouveau Mexique.

L'EPA a constaté que la Nation Navajo avait procédé à l'assainissement de mines à ciel ouvert dans divers districts miniers dans le nord-est de l'Arizona. Globalement, en Arizona, 10 % environ des déchets des mines d'uranium ont été réaménagés.

### ***Délivrance d'autorisations et de permis relatifs aux installations de production d'uranium***

Il y a lieu de noter qu'aucune nouvelle usine de traitement de l'uranium n'a fait l'objet d'une autorisation aux États-Unis depuis 1981. Une seule grande mine d'uranium, celle de Green Mountain, a donné lieu à la délivrance d'une autorisation ces dernières années. Pour l'essentiel toutes les activités de délivrance d'autorisations et de permis ont visé des projets de lixiviation *in situ*. On trouvera dans les paragraphes suivant des informations détaillées sur des exemples de procédures récentes de délivrance d'autorisations et de permis.

---

62. U.S. Environmental Protection Agency, en préparation, *Uranium Mining Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Materials*, Washington, DC.

63. Scarborough R.B. (1981), *Radioactive occurrences and uranium production in Arizona* (Indices radioactifs et production d'uranium en Arizona) : U.S. Dept of Energy Report GJBX-143 (81), 297 p.

## *Accord de délivrance de permis passé entre la NRC et un État*

« Pour traiter ou raffiner des minerais contenant en poids 0,05 % d'uranium ou davantage, après retrait du gisement dans lequel ils se trouvent dans la nature, une autorisation visant les matières premières brutes délivrée par la NRC est exigée. Un requérant de nouvelle autorisation ou de renouvellement d'une autorisation existante visant la réception, la possession et l'utilisation de matières brutes, est tenu de fournir des informations détaillées sur ses installations, équipements, antécédents et procédés envisagés. Ces informations servent à la Commission pour déterminer si les activités projetées par le requérant entraîneront, entre autres choses, un risque indu pour la santé et la sécurité du public. Des instructions générales visant le dépôt d'une demande figurent à l'article 40.31 du Titre 10 du Code de la réglementation fédérale, Partie 40 » – Extrait du Guide de réglementation 3.5 de la NRC.

La NRC est mandatée par le Congrès pour réglementer les opérations dont la finalité principale est la récupération de l'uranium, telle qu'elle est définie dans la Loi de 1954 sur l'énergie atomique. Les opérations dans lesquelles l'uranium est récupéré en tant que produit secondaire ou sous-produit ne sont pas réglementées par la NRC, mais le sont par des organismes de l'État à l'instar de toute autre activité industrielle. Par exemple, la récupération d'uranium en tant que sous-produit en Louisiane est réglementée par le Département de la qualité de l'environnement [*Department of Environmental Quality*].

En vertu de l'UMTRCA, il incombe aussi à la NRC de réglementer les résidus du traitement de l'uranium. Certains États ont préféré réglementer les usines de traitement se trouvant dans les limites de leur juridiction, comme les États avaient droit de le faire. De cette manière, il a été possible de faire appel aux compétences existant au niveau de l'État pour traiter les questions locales en matière d'environnement, de même que les éventuelles incidences socio-économiques susceptibles de résulter de telles opérations. Au début des années 60, la NRC et les États dits liés par des accords [*Agreement States*] ont signé des accords par lesquels l'État devait mettre en place des systèmes de permis, de réglementation et de surveillance comparables à ceux de la NRC. Dans des États non liés par des accords, c'est la NRC qui était l'organisme de réglementation. Lorsque les prescriptions en matière de réglementation et/ou de surveillance sont devenues plus complètes et plus coûteuses, certains États, entre autres le Nouveau Mexique, ont restitué ces compétences à la NRC. Seuls trois États, le Colorado, le Texas, et l'État de Washington, demeurent liés par des accords en ce qui concerne les usines de traitement et les résidus d'uranium se trouvant intégralement sur leur territoire. Tous les autres États permettent à la NRC de mettre en place les mesures de contrôle requises.

La lixiviation *in situ* (LIS) de l'uranium est considérée comme une récupération primaire ou un « traitement » de l'uranium. En conséquence, la LIS est réglementée par la NRC, ou par les États concernés liés par des accords.

La réglementation par la NRC n'exclut pas l'intervention de l'État dans une opération de traitement de l'uranium. Les États appliquent des prescriptions différentes dans le cas des permis en matière de qualité de l'eau, des permis relatifs à l'eau de boisson, etc., et la NRC collabore étroitement avec les différents organismes des États qui sont intéressés par l'aménagement des usines de traitement. Le Directeur du Programme de contrôle des rayonnements dans chaque État aide à coordonner les activités de l'État et de la NRC.

### *Nouveau Mexique – Crownpoint*

Les activités liées à la délivrance de l'autorisation relative au projet de lixiviation *in situ* de Crownpoint ont débuté en 1988, mais les permis et autorisations nécessaires pour les opérations projetées n'ont pas encore été délivrés. D'importantes activités ont notamment été consacrées à



l'établissement d'un projet de déclaration d'incidences sur l'environnement qui a été publié au début de 1995 et à la réalisation des modifications qu'il a fallu apporter à ce projet pour publier la déclaration finale d'incidences sur l'environnement en février 1997. Les principaux agréments requis pour des opérations de LIS au Nouveau Mexique comprennent une autorisation visant des matières brutes délivrée par la NRC et un permis de contrôle de l'injection souterraine émanant du Département de l'environnement du Nouveau Mexique ou de l'EPA.

Un facteur qui complique la délivrance des permis et des agréments pour ce projet tient à sa relation avec la communauté amérindienne et au contexte politique de cette communauté. Ces relations ont amené une variété d'organismes fédéraux à intervenir dans la procédure de délivrance d'autorisations et/ou de permis.

Avant 1986, le Nouveau Mexique était lié par un accord et réglementait toutes les activités de production d'uranium par l'intermédiaire de ses organismes d'État. À compter du 1er juin 1986, la NRC a assumé la responsabilité principale de la réglementation des usines de traitement de l'uranium et des résidus de ce traitement au Nouveau Mexique. Étant donné que les opérations de LIS sont classées comme des installations de production primaire d'uranium, elles sont également réglementées par la NRC. L'État du Nouveau Mexique réglemente toutes les autres activités liées à l'uranium, mais il est aussi profondément impliqué dans les domaines où la NRC est le principal organisme de réglementation.

Les activités classiques d'exploitation minière de l'uranium au Nouveau Mexique sont réglementées au premier chef par le Département de l'énergie, des minéraux et des ressources naturelles, la Division de l'amélioration de l'environnement [*Environmental Improvement Division*] du Département de la santé et de l'environnement [*Health and Environment Department*] et l'Ingénieur de l'État [*State Engineer*].

Les activités de LIS à Crownpoint seront autorisées et réglementés au premier chef par la NRC, mais de nombreux autres organismes seront aussi impliqués comme le montre la liste suivante.

<b>Permis / pouvoir réglementaire</b>	<b>Organisme examinateur / d'octroi</b>
Permis de forage et de complétion des puits	USGS, USBIA, USNPS, SEO
Installation minière d'essais pilotes	USGS, USBIA
Préavis de rejet	EID (WPCB)
Permis de rejet dans les eaux souterraines	EID (WPCB)
Injection souterraine	WQCC
Feu vert archéologique	USNPS, SHPD
Protection des espèces menacées	NMNRD
Permis du point de vue du contrôle de la qualité de l'air	EID (AQB)
Enregistrement de l'évacuation des déchets solides	EID (CSSB)
Permis d'acquisition de droits sur l'eau	SEO
Enregistrement de la mine	EMD (MMD)

*Note :*

*USBIA* *Bureau of Indian Affairs (Bureau des affaires indiennes)*

*EID* *Environmental Improvement Division (Division de l'amélioration de l'environnement), New Mexico Health and Environment Department (Département de la santé et de l'environnement du Nouveau Mexique). Relèvent de l'EID :*

<i>AQB</i>	<i>Air Quality Bureau (Bureau de la qualité de l'air), EID</i>
<i>CSSB</i>	<i>Community Support Services Bureau (Bureau des services de soutien communautaire), EID</i>
<i>RPB</i>	<i>Radiation Protection Bureau (Bureau de radioprotection), EID</i>
<i>WPCB</i>	<i>Water Pollution Control Bureau (Bureau de lutte contre la pollution de l'eau), EID</i>
<i>WQCC</i>	<i>New Mexico Water Quality Control Commission (Commission de contrôle de la qualité de l'eau du Nouveau Mexique)</i>
<i>EMD</i>	<i>New Mexico Energy and Minerals Department (Département de l'énergie et des minéraux du Nouveau Mexique)</i>
<i>MMD</i>	<i>Mining and Minerals Division (State Mine Inspector) (Division de l'exploitation minière et des minéraux (Inspecteur d'État des mines))</i>
<i>SHPD</i>	<i>New Mexico Historic Preservation Division, Office of Cultural Affairs (Division de la préservation historique du Nouveau Mexique, Office des affaires culturelles)</i>
<i>SEO</i>	<i>New Mexico State Engineer Office (Office de l'Ingénieur de l'État du Nouveau Mexique)</i>
<i>NRD</i>	<i>New Mexico Natural Resources Department (Département des ressources naturelles du Nouveau Mexique)</i>
<i>USNPS</i>	<i>National Park Service (Service des parcs nationaux)</i>
<i>USGS</i>	<i>U.S. Geological Survey (Service géologique des États-Unis)</i>

#### *Wyoming – Smith Ranch*

La procédure d'autorisation d'une exploitation minière d'extraction par dissolution de type commercial dans l'État du Wyoming a demandé, dans le passé, près de 4 ans à 4 ans et demi. Il était principalement exigé de faire la démonstration, par l'intermédiaire d'un essai sur une installation pilote, de la capacité de restauration de l'aquifère. Récemment, toutefois, la procédure d'autorisation a été rationalisée et une démonstration de la restauration de l'aquifère peut ne pas être requise. Cette rationalisation est le résultat d'un changement d'attitude de la part des autorités réglementaires du Wyoming qui d'hostiles sont devenues neutres, voire accommodantes. Ce changement s'est produit en réponse à une prise de conscience croissante de la contribution de la production d'uranium à l'économie de l'État de même qu'à une familiarisation croissante avec la technologie de l'extraction par dissolution.

Les permis suivants sont requis pour mener des opérations commerciales d'extraction par dissolution au Wyoming :

- Commission de la réglementation nucléaire des États-Unis (NRC) :
  - Autorisation visant des matières brutes.
- Département de la qualité de l'environnement du Wyoming (WDEQ) :
  - Division de la qualité des terres et Division de la qualité de l'eau.  
Permis d'exploitation minière.
  - Division de la qualité de l'eau.  
Permis de construire des bassins d'évaporation.  
Permis de construire des systèmes de traitement des eaux usées (effluents sanitaires et de laboratoire).

- Permis de lutte contre la pollution des eaux souterraines :
  - Division de la qualité des terres.  
Permis de prospection par forage.
  - Division de la qualité de l'air.  
Permis de construire et d'exploiter l'installation.  
Permis de construire et d'exploiter le sécheur de concentré d'uranium.
  - Bureau de l'Ingénieur de l'État :  
Permis d'acquisition de droits sur l'eau souterraine pour des puits d'eau potable, des champs de puits, des puits de surveillance et des puits d'essais hydrologiques.
  - Autres organismes :  
Permis de construire des bassins d'évaporation.  
Accords d'accès et d'usage passés avec le propriétaire foncier.  
Agréments du service de planification du comté.  
Agrément des plans de formation à la sûreté par l'Administration fédérale chargée de la santé et de la sécurité dans les mines [*U.S. Mine Safety and Health Administration*].

La société Rio Algom, et auparavant la société Kerr-McGee (Sequoyah), ont participé pendant de nombreuses années à la procédure de délivrance de permis visant des exploitations souterraines, à ciel ouvert et par LIS à Smith Ranch. La NRC a approuvé le 12 janvier 1989 le transfert à la société Rio Algom de l'autorisation délivrée à la société Kerr-McGee pour les matières brutes destinées à une installation pilote. À la mi-1989, la société Rio Algom a soumis des demandes d'autorisation d'exploitation commerciale par LIS à la NRC et à au Département de la qualité de l'environnement et, en juillet 1990, elle a déposé un amendement à ces demandes en vue de porter la capacité théorique de production à 2 millions de livres d' $U_3O_8$  par an. L'État du Wyoming a délivré un permis d'exploitation minière commerciale en août 1991, et la NRC a délivré une autorisation de matières brutes en mars 1992.

### Texas

Le Texas demeure l'un des rares États dans lesquels les activités commerciales de production d'uranium sont réglementées par des organismes de l'État. Une autorisation de manipuler des matières radioactives est requise pour exploiter une installation de production d'uranium par lixiviation *in situ* au Texas. Depuis janvier 1975, date à laquelle la première exploitation commerciale d'extraction de l'uranium par lixiviation *in situ* a démarré au Texas, environ 25 mines de ce type ont fait l'objet d'autorisations<sup>64</sup>.

Sous l'autorité de la Commission de la conservation des ressources naturelles du Texas [*Texas Natural Resource Conservation Commission – TNRCC*], le programme de Contrôle des injections souterraines [*Underground Injection Control – UIC*] est régi par la réglementation et/ou la législation de l'État et la réglementation et/ou législation fédérales applicables aux puits d'injection souterraine et à la protection des eaux souterraines au Texas. Les puits d'injection utilisés au Texas pour l'extraction de l'uranium par dissolution *in situ*, qui sont des puits de Classe III<sup>65, 66</sup>, sont ceux par lesquels on

---

64. Texas Natural Resource Conservation Commission (Commission de la conservation des ressources naturelles du Texas). *Underground Injection Control: Rules* (Contrôle des injections souterraines : Règles) (Mise à jour : 4 novembre 1999).

65. *Ibid.*, p. 1.

66. Knapp B.K. (1984), *Underground Injection Operations in Texas, A Classification and Assessment of Underground Injection Activities* (Exploitations par injection souterraine au Texas, Classification et

injecte des fluides pour extraire des minéraux (notamment pour extraire de l'uranium) à l'exclusion du pétrole et du gaz et sont réglementés par la TNRCC, comme cela est indiqué ci-après.

Les substances radioactives relèvent de la compétence de l'Autorité du Texas chargée de l'évacuation des déchets de faible activité [*Texas Low-Level Radioactive Waste Disposal Authority*], du Bureau de contrôle des rayonnements [*Bureau of Radiation Control – BRC*] du Département de la Santé du Texas [*Texas Department of Health*], et de la Commission de la conservation des ressources naturelles du Texas (TNRCC). Le BRC, dont la compétence s'étend à toutes les activités à l'exception de l'évacuation des déchets radioactifs et des matières radioactives présentes dans la nature, a été investi en 1997 en vertu du S.B. 1857 de la responsabilité de délivrer les autorisations relatives aux matières radioactives en vue de l'extraction et du traitement *in situ* de l'uranium ainsi que de l'évacuation des sous-produits et déchets de la production d'uranium. La TNRCC, établie en 1993 par fusion de plusieurs organismes de l'État en tant qu'organisme unique de réglementation en matière d'environnement, délivre des permis visant les puits d'injection utilisés pour l'exploitation minière *in situ*, l'injection souterraine d'effluents et l'évacuation de matières radioactives présentes dans la nature quand elle ne sont pas liées à la production de pétrole et de gaz.

Les demandes de permis doivent être examinées par les organismes suivants qui forment des commentaires :

- *Bureau of Economic Geology* (Bureau de géologie économique).
- *Railroad Commission of Texas* (Commission des chemins de fer du Texas).
- *Texas Air Control Board* (Office de la lutte contre la pollution de l'air du Texas).
- *Texas Department of Agriculture* (Département de l'agriculture du Texas).
- *Texas Historical Commission* (Commission historique du Texas).
- *Texas Parks and Wildlife Department* (Département des parcs et des espèces sauvages du Texas).
- *Texas State Soil and Water Conservation Board* (Office de la conservation des sols et de l'eau de l'État du Texas).

Le Texas exige la constitution d'une garantie financière afin couvrir le réaménagement de tous les sites d'exploitation. L'importance des fonds et la forme de la garantie doivent être acceptables pour l'État et font l'objet d'une révision annuelle par ce dernier.

Les redevances applicables aux demandes d'autorisations s'élèvent à 68 000 USD. La redevance annuelle est de 29 000 USD. Alors qu'il est en principe possible d'exploiter deux installations en vertu d'une seule autorisation, s'agissant par exemple d'une installation primaire de récupération et d'un satellite, il existe certaines pressions en faveur de la délivrance d'autorisations distinctes pour chaque installation.

#### *Nebraska – Crow Butte*

La procédure d'autorisation relative au projet de Crow Butte a débuté en 1983 date à laquelle des demandes d'autorisations relatives à des opérations de recherche et de développement d'installations pilotes ont été soumises à la NRC et au Département de protection de l'environnement du Nebraska

[*Nebraska Department of Environmental Control – NDEC*]. Ces autorisations ont été accordées en 1985, mais limitées à un débit de l'installation pilote de 100 gallons par minute (379 l/mn).

Des demandes d'autorisation d'exploitation commerciale ont été soumises aux deux organismes vers la fin de 1987. La NRC a donné son accord en décembre 1989 et la NDEC a approuvé l'exploitation en avril 1990. Les autorisations (de LIS) relatives à Crow Butte accordées par la NDEC étaient les premières de ce type à être délivrées par cet organisme.

Les propriétaires du projet de Crow Butte ont surmonté une série de difficultés importantes au cours de la procédure d'autorisation, notamment une éventuelle restriction à la participation d'intérêts étrangers au niveau de l'État et des difficultés imputables à l'identification d'une installation d'évacuation acceptable pour les déchets de faible activité. Toutes les autorisations et tous les permis se sont heurtés à l'opposition de groupes restreints mais bruyant d'activistes antinucléaires locaux.

### ***Coûts de la gestion de l'environnement dans les installations en exploitation***

Sur les 75 sites ayant fait l'objet d'évaluations, un seul, la nouvelle usine de traitement de Canon City de la société « Cotter Corporation », était en exploitation à la fin de 1999. L'usine de Shooting Canyon de la société U.S. Energy, celle d'Ambrosia Lake de la société Quiviral, et celle de Sweetwater des sociétés U.S. Energy/Kennecott étaient en réserve. L'usine de traitement de White Mesa de la société International Uranium Corporation traite des « substances de base » de remplacement. Il n'a pas été possible d'obtenir des informations sur les coûts actuels d'exploitation de ces installations.

### ***Coûts de la gestion de l'environnement après fermeture***

Les coûts de la gestion de l'environnement après fermeture consistent principalement en des coûts de réaménagement et de surveillance. Pour les usines de traitement de l'uranium, ces coûts comprennent la décontamination et la démolition de l'usine, la stabilisation à long terme des résidus, et la restauration des eaux souterraines. Pour les mines, le réaménagement a donné lieu au remblayage partiel des mines à ciel ouvert, à la stabilisation des tas de stériles, au remodelage des surfaces des terrains perturbés, et la remise en végétation. La surveillance est un poste de coût après fermeture dans le cas tant des mines que des usines. Dans les tableaux 1 à 7, on trouvera une récapitulation des coûts après fermeture relatifs aux 75 installations de production, comprenant des mines et des usines, qui ont été couvertes dans la présente étude.

### **Analyses coûts – bénéfiques**

On a procédé à des comparaisons entre les coûts du réaménagement et les avantages pouvant être quantifiés, autrement dit à des analyses coûts – bénéfiques, pour l'ensemble des 75 sites inclus dans cette étude. Pour les sites d'usines de traitement relevant du Titre I, les coûts totaux de réaménagement ont été considérés en regard du tonnage de minerai traité, du tonnage d' $U_3O_8$  produit et des quantités de curies of  $^{226}Ra$  isolées de l'environnement. Dans le cas des usines de traitement relevant du Titre II, les coûts totaux de réaménagement ont été considérés en regard du tonnage de minerai traité et du tonnage d' $U_3O_8$  produit ; il n'y avait pas de données disponibles permettant d'évaluer les coûts par rapport aux quantités de curies de  $^{226}Ra$  isolées de l'environnement. Dans le cas des mines, les coûts totaux de réaménagement ont été considérés en regard du tonnage de minerai traité et du tonnage d' $U_3O_8$  produit.

Les sites relevant du Titre I (tableau 4) ont été comparativement coûteux à réaménager ou à stabiliser pour les rendre conformes aux normes requises. Sur les 26 sites relevant du Titre I, de loin le

plus coûteux a été l'usine de traitement de Grand Junction, dont le coût s'est élevé à 450,5 millions d'USD. Les coûts moyens de réaménagement ont atteint 50,91 USD/t de minerai et 29,22 USD/kg d'U produit, mais si l'on exclut l'usine de Grand Junction, le coût moyen tombe à 38,16 USD/t de minerai et le coût moyen par kg d'U tombe à 22,31 USD. Les moyennes sans l'usine de Grand Junction sont considérées comme étant plus représentatives et plus significatives, en particulier par comparaison avec les coûts des usines de traitement relevant du Titre II. Le coût par curie de <sup>226</sup>Ra est compris entre 5 000 USD/curie et 958 000 USD/curie avec une moyenne s'établissant à 48 ,000 USD/curie. Le coût moyen de réaménagement par site relevant du Titre I a été de 56,9 millions d'USD.

En termes de réaménagement par tonne de minerai, les sites relevant du Titre II (tableau 5) ont été notablement moins coûteux à réaménager aux mêmes normes que les usines relevant du Titre I. Les coûts moyens de réaménagement des 28 sites relevant du Titre II se sont élevés à 2,66 USD/t de minerai et à 2,06 USD/kg d'U produit. Cependant, l'usine de traitement de Shootaring Canyon constitue une anomalie du fait qu'elle n'a été exploitée que le temps nécessaire pour la tester, n'ayant traité que 13 500 tonnes de minerai. Si l'on exclut les chiffres des coûts relatifs à l'usine de Shootaring Canyon, les coûts moyens des usines relevant du Titre II tombent à 2,62 USD/t de minerai et à 2,03 USD/kg d'U produit. Les fourchettes des coûts de réaménagement de ces sites sont comprises entre un minimum de 0,67 USD/t de minerai et 0,65 USD/kg d'U produit, et un maximum de 11,33 USD/t de minerai et 10,28 USD/kg d'U produit, si l'on exclut l'usine de Shootaring Canyon. Le coût moyen de réaménagement par site relevant du Titre II a été de 20,9 millions d'USD, soit environ 37 % du coût moyen des sites relevant du Titre I. On trouvera au tableau 6 une comparaison des coûts totaux de fermeture des sites relevant respectivement du Titre I et du Titre II.

Les avantages pour la santé publique et l'environnement, qui résultent du réaménagement des usines de traitement de l'uranium, comportent de nombreux aspects en dehors des curies confinées, des tonnes de minerai et d'uranium produites, des nombres et emplacements des récepteurs et des voies d'exposition. Ces autres aspects n'ont pas pu être déterminés ni quantifiés en vue de cette étude. C'est pourquoi, la seule évaluation des avantages qui peut être obtenue à partir des données communes à tous les sites miniers est fondée sur les tonnes de minerai et la quantité d'uranium produites, comme cela est décrit plus haut. Il ressort de ces coûts, que la restauration des sites relevant du Titre II procure plus d'avantages par coût unitaire que la restauration des sites relevant du Titre I.

Les coûts de réaménagement des 21 mines (tableau 7) couvertes par cette étude ont été très variables, de plus de deux ordres de grandeur en termes de coût par tonne de minerai et kg d'U produit. Cette fourchette de variation est en partie imputable à des différences de superficie de terrain perturbé par tonne de minerai, mais elle est due pour une large part à des différences dans les méthodes de comptabilisation des coûts de réaménagement. Dans le cas de certaines mines, des travaux de réaménagement ont été menés en parallèle pendant l'exploitation et pour certaines de ces mines, ces coûts ont été imputés dans les frais d'exploitation, alors que pour d'autres, ils ont été imputés séparément en tant que coûts de réaménagement. Les coûts moyens de réaménagement des 21 sites miniers couverts dans la présente étude se sont élevés à 3,01 USD/t de minerai extrait, 2,54 USD/kg d'U produit, et 29 969 USD/hectare de terrain perturbé. Cependant, la mine de Day-Loma présente des coûts exceptionnellement élevés et fausse les moyenne de façon disproportionnée par rapport à sa production totale. Si l'on exclut les coûts afférents à la mine de Day-Loma, les coûts moyens des sites relevant du Titre II tombent à 2,77 USD/t de minerai, 2,34 USD/kg d'U produit, et 27 900 USD/hectare de terrain perturbé. Les fourchettes des coûts de réaménagement de ces sites sont comprises entre un minimum de 0,24 USD/t de minerai, 0,18 USD/kg d'U produit, et 2 337 USD/hectare de terrain perturbé, et un maximum de 33,33 USD/t de minerai, 23,74 USD/kg d'U produit, si l'on exclut la mine de Day-Loma, et 269 531 USD/hectare de terrain perturbé pour l'ensemble des 21 mines. Le coût moyen total estimé est de 13,9 millions d'USD par mine. Les valeurs relatives au coût moyen de fermeture par site, au coût total de fermeture, à la restauration des eaux souterraines, et au total général sont arrondies au million de dollars de plus proche.

Tableau 1. Usines de traitement de l'uranium relevant du Titre I – Étude sur le déclassement – Quantité et coût

Usines d'uranium relevant du Titre I	Propriétaire/Exploitant	tonne de minerai (million)	tonne (d'U)	curies	total (USD)	USD/t (de minerai)	USD/te (de minerai)	USD/kg (d'U)	USD/livre (d' U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )	USD (curie)
Ambrosia Lake Usine	Phillips, United Nuclear Corp.	2,8	5 077	1 850	33,80	12,07	10,95	6,75	2,60	18 270
Belfield Installation	Union Carbide	<0,1	130	n.d.	4,00	91,36	82,88	30,92	11,89	–
Bowman Installation	Kerr-Megee Nuclear	0,1	233	n.d.	2,70	36,30	32,93	11,37	4,37	–
Canonsburg	Vitro Minerals	0,3	224	100	35,00	129,63	117,60	156,25	60,10	350 000
Durango Usine	Vanadium Corp.	1,5	3 020	1 400	53,50	36,90	33,47	17,72	6,81	38 214
Edgemont Usine	Tennessee Valley Authority	2,1	3 493	n.d.	35,30	16,83	15,27	10,12	3,89	–
Falls City Usine	Susquehanna Western	2,3	3 077	1 277	41,60	18,08	16,40	13,52	5,20	32 566
Grand Junction Usine	Climax	2,1	4 496	n.d.	450,50	214,52	194,61	100,20	38,54	–
Green River usine de traitement	Union Carbide	0,2	346	30	15,20	76,00	68,95	43,93	16,90	506 667
Gunnison Usine 1	Gunnison Mining	0,5	623	175	40,30	80,69	73,21	64,76	24,91	230 554
Lakeview Usine	Lakeview Mining	0,1	150	42	24,60	245,71	222,91	163,81	63,00	585 024
Lowman Usine	Porter Brothers	0,2	140	12	11,50	57,49	52,15	82,14	31,59	958 167
Maybell Usine	Umetco Minerals Corp.	2,4	1 538	455	42,80	17,82	16,17	27,81	10,69	93 991
Mexican Hat Usine	Atlas Minerals	2,0	4 385	1 800	44,00	22,00	19,95	10,03	3,86	24 439
Monticello Usine	US Atomic Energy Commission	0,8	1 763	n.d.	256,20	320,25	290,53	145,32	55,89	–
Monument #2 unité de valorisation	Vanadium Corp.	0,9	2 307	n.d.	17,50	19,44	17,63	7,58	2,92	–
Naturita Usine	Vanadium Corp.	0,6	1 895	79	59,80	99,72	90,46	31,57	12,14	757 342
Rifle Usine 1	Union Carbide	2,8	6 154	2 738	100,20	35,77	32,45	16,27	6,96	36 579
Riverton Usine	Susquehanna Western	0,8	831	n.d.	39,10	48,83	44,29	47,00	18,08	–
Salt Lake City Usine	Vitro Minerals	1,5	4 185	1 550	83,90	55,96	50,77	20,06	7,72	54 159
Shiprock Usine	Footo Minerals	3,4	7 115	748	17,80	5,22	4,74	2,50	0,96	23 743
Slick Rock River usine de traitement	Union Carbide	0,6	1 290	149	36,10	57,79	52,43	27,96	10,75	242 040
Slick Rock Installation	North Continent Mining	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Spook unité de valorisation	Wyoming Mining	0,2	173	125	5,50	27,49	24,94	31,78	12,22	43 984
Tuba City Usine	El Paso Natural Gas	0,7	1 806	940	25,70	36,69	33,28	14,22	5,47	27 320
<b>Totaux et moyennes</b>		<b>28,9</b>	<b>54 381</b>	<b>13 470</b>	<b>1 476,50</b>	<b>51,16</b>	<b>46,41</b>	<b>27,15</b>	<b>10,44</b>	<b>49 829</b>

t = tonne t d'U = tonne d'uranium tc = tonne courte livre d'U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> = livre de concentré d'uranium sous forme d' U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>  
n.d. = non disponible – = non applicable

Notes : Belfield Plant : La quantité indiquée de minerai traité s'est élevée à 44 429 tonnes.  
Source : International Nuclear, Inc. "Support for Data Compilation and Analysis of Costs Relating to Environmental Restoration of U.S. Uranium Production Facilities."  
Rapport final non publié établi pour le compte de l'Energy Information Administration. Golden, Colorado, États-Unis, mars 2000.

Tableau 2. Usines de traitement de l'uranium relevant du Titre II – Étude sur le déclassement – Quantité et coût

Usines d'uranium relevant du Titre II	Propriétaire/Exploitant	tonne de minerai (million)	tonne (d'U)	total en USD (millions)	USD/t (de minerai)	USD/te (de minerai)	USD/kg (d'U)	USD/livre (d' U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )
Bear Creek Usine	Rocky Mountain Energy	4,3	2 529	4,90	1,14	1,03	1,94	0,75
Bluewater Usine	Anaconda Minerals Co.	32,8	50 000	43,00	1,31	1,19	0,86	0,33
Church Rock Usine I	United Nuclear Mining & Milling	3,2	3 091	16,40	5,13	4,65	5,31	2,04
Conquista Usine I	Conoco Inc.	8,0	6 154	8,00	1,00	0,91	1,30	0,50
Durita Lixiviation en tas	Hecla Mining Corp.	0,6	147	3,00	5,00	4,55	20,41	7,85
Ford Usine	Dawn Mining Co.	2,8	4 773	17,50	6,25	5,67	3,67	1,41
Gas Hills Usine	Umetco Minerals Corp.	7,3	6 836	50,60	6,93	6,29	7,40	2,85
Gas Hills Usine	Federal-American Partners	5,2	10 263	7,40	1,42	1,29	0,72	0,28
Grand Junction Installation pilote <sup>1)</sup>	U.S.Atomic Energy Commission	<0,1	50	33,30	–	–	–	–
Grants Usine	United Nuclear-Homestake	22,2	28 500	71,10	3,20	2,90	2,49	0,96
Grants Usine	Quivira Mining Co.	37,9	48 360	41,20	1,09	0,99	0,85	0,33
Highland Usine	Exxon Minerals Co.	10,0	9 297	20,00	2,00	1,81	2,15	0,83
L-Bar Usine	Sohio Western Mining Co.	1,5	1 736	17,00	11,33	10,28	9,79	3,77
Lisbon Usine	Rio Algom Corp.	3,5	5 712	15,50	4,43	4,02	2,71	1,04
Lucky Mc Usine	Pathfinder Mines Corp.	14,6	21 909	9,80	0,67	0,61	0,45	0,17
Maybell Installation de lixiviation en tas	Umetco Minerals Corp.	1,8	385	3,20	1,78	1,61	8,31	3,20
Moab Usine	Atlas Minerals	19,5	24 769	16,00	0,82	0,74	0,65	0,25
New Canon City Usine	Cotter Corp.	1,9	6 847	12,80	6,74	6,11	1,87	0,72
Old Canon City Usine	Cotter Corp.	–	–	–	–	–	–	–
Panna Maria Usine	Rio Grande Resources	5,9	5 846	21,00	3,56	3,23	3,59	1,38
Ray Point Usine	Exxon Minerals Co.	0,4	229	4,10	10,25	9,30	17,90	6,89
Sherwood Usine	Western Nuclear Inc.	2,6	2 300	8,30	3,19	2,90	3,61	1,39
Shirley Basin Usine	Petrotomics Company	5,7	9 075	9,90	1,74	1,58	1,09	0,42
Shirley Basin Usine	Pathfinder Mines Corp.	6,5	9 463	15,00	2,31	2,09	1,59	0,61
Shooting Canyon Usine	U.S. Energy	<0,1	10	7,00	–	–	–	–
Split Rock Usine	Western Nuclear Inc.	7,0	7 190	25,00	3,57	3,24	3,48	1,34
Sweetwater Usine	Minerals Exploration Co.	<0,1	497	5,40	2,57	2,33	10,87	4,18
Uravan Usine	Umetco Minerals Corp.	9,4	16 346	96,20	10,23	9,28	5,89	2,26
White Mesa Usine	International Uranium	4,0	10 923	11,50	2,87	2,60	1,05	0,40
<b>Totaux et moyennes</b>		<b>220,2</b>	<b>293 297</b>	<b>594,10</b>	<b>2,69</b>	<b>2,44</b>	<b>2,03</b>	<b>0,78</b>

t = tonne t d'U = tonne d'uranium tc = tonne courte kg d'U = kilogramme d'uranium livre d'U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> = livre de concentré d'uranium sous forme d'U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> – = non applicable



Tableau 3. Mines d'uranium – Étude sur le déclassement – Récapitulatif des quantités et des coûts – mines d'uranium

Mines d'uranium	Propriétaire/Exploitant	tonne de minerai (million)	tonne (d'U)	ha	total en USD (millions)	USD/t (de minerai)	USD/tc (de minerai)	USD/kg (d'U)	USD/livre (d' U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )	USD (ha)
Bear Creek MCO	Rocky Mountain Energy	4,3	2 615	765	6,20	1,44	1,31	2,37	0,91	8 105
Big Eagle MCO. & MST	U.S. Energy	1,2	1 064	183	7,30	6,06	5,49	6,83	2,63	39 716
Conquista MCO.	Conoco Inc.	5,2	2 875	1 160	5,20	1,00	0,91	0,71	0,70	4 483
Crooks Gap mines	U.S. Energy	5,9	8 000	129	1,40	0,24	0,22	0,18	0,07	10 853
Day-Loma MCO.	Energy Fuels Nuclear, Inc.	0,4	575	167	24,60	61,50	55,79	42,78	16,45	147 305
Felder MCO.	Exxon Minerals Co.	0,9	982	184	0,40	0,48	0,43	0,44	0,17	2 337
East Gas Hills MCO	Umetco Minerals Corp.	7,3	6 836	780	16,60	2,27	2,06	2,42	0,93	21 219
Gas Hills MCO	Federal-American Partners	0,8	563	161	2,30	2,88	2,61	4,09	1,57	14 286
Highland MCO.	Exxon Minerals Co.	10,0	9 297	447	3,80	0,38	0,34	0,41	0,16	8 501
Jackpile/Paguate MCO.	Anaconda Minerals Co.	21,6	28 808	1 075	35,00	1,62	1,47	1,21	0,47	32 558
Lucky Mc MCO.	Pathfinder Mines Corp.	10,6	16 923	1 284	15,00	1,42	1,28	0,89	0,34	11 682
Midnite MCO.	Dawn Mining Co.	2,0	3 846	128	34,50	17,25	15,65	8,97	3,45	269 531
Panna Maria MCO.	Chevron Resources Co.	4,7	1 868	407	15,00	3,19	2,90	8,03	3,09	36 855
Pitch MCO	Honestake Mining Co.	0,3	830	126	10,00	33,33	30,24	12,05	4,63	79 365
Powder River Basin MCO.	Kerr-McGee Nuclear	0,5	384	118	1,90	3,80	3,45	4,95	1,90	16 102
Rhode Ranch MCO	Chevron Resources Co.	1,1	3 036	183	4,00	3,81	3,46	1,32	0,51	21 858
Sherwood MCO	Western Nuclear Inc.	2,6	2 300	205	3,50	1,35	1,22	1,52	0,59	17 073
Shirley Basin MCO	Pathfinder Mines Corp.	6,5	9 463	1 369	59,30	9,12	8,28	6,27	2,41	43 316
Shirley Basin MCO	Petrochemicals Company	5,7	9 075	399	32,00	5,61	5,09	3,53	1,36	80 201
St. Anthony MCO	United Nuclear Mining & Milling	0,6	568	175	2,00	3,33	3,02	3,52	1,35	11 429
Sweetwater MCO	Minerals Exploration Co.	2,1	497	294	11,80	5,62	5,10	23,74	9,13	40 136
<b>Totaux et moyennes</b>		<b>94,2</b>	<b>110 405</b>	<b>9 739</b>	<b>291,70</b>	<b>3,10</b>	<b>2,81</b>	<b>2,64</b>	<b>1,02</b>	<b>29 957</b>

t = tonne t d'U = tonne d'uranium ha = hectare  
MCO = mine à ciel ouvert MST = mine souterraine

Source : International Nuclear, Inc. "Support for Data Compilation and Analysis of Costs Relating to Environmental Restoration of U.S. Uranium Production Facilities." Rapport final non publié établi pour le compte de l'Energy Information Administration. Golden, Colorado, États-Unis, mars 2000.

1) Les quantités indiquées pour l'installation pilote de de Grand Junction minerai traité se sont élevées à 30 000 tonnes ; la production indiquée de concentré d'uranium comprend les concentrés reçus d'autres installations à l'unité d'échantillonnage. Les totaux relatifs à l'usine d'Old Canon City sont inclus dans ceux de l'usine de New Canon City. Usine de Shooting Canyon : la quantité indiquée de minerai traité s'est élevée à 15 000 tonnes.

kg d'U = kilogramme d'uranium livre d'U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> = livre de concentré d'uranium sous forme d' U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>

**Tableau 4. Production d'uranium et coût de fermeture des sites pour les usines de traitement et installations connexes relevant du Titre I**

Rubriques	Valeur
Sites (nombre)	25
Production d'uranium	
Minerai traité (millions de tonnes de minerai)	28,90
U produit (tonnes)	54 381,00
Coût de fermeture enregistré dans la pratique :	
Coût moyen (USD/t de minerai)	51,16
Coût le plus bas (USD/t de minerai)	5,22
Coût le plus élevé (USD/t de minerai)	320,25
Coût moyen (USD/kg d'U)	27,15
Coût le plus bas (USD/kg d'U)	2,50
Coût le plus élevé (USD/kg d'U)	163,81
Coût moyen (USD/curie, <sup>226</sup> Ra)	50 000,00
Coût le plus bas (USD/curie, <sup>226</sup> Ra)	23 743,00
Coût le plus élevé (USD/curie, <sup>226</sup> Ra)	958 167,00
Coût moyen de fermeture par site (25 sites ; millions d'USD)	59,00
Coût total de fermeture (25 sites ; millions d'USD)	1 477,00
Restauration des eaux souterraines (25 sites ; millions d'USD)	215,00
<b>Total général (25 sites ; millions d'USD)</b>	<b>1 692,00</b>

t de minerai = tonne de minerai      kg d'U = kilogramme d'uranium  
 curie <sup>226</sup>Ra = unité de radioactivité correspondant au radium-226 isolé de l'environnement

**Source pour les tableaux 4 à 7 :** International Nuclear, Inc. "Support for Data Compilation and Analysis of Costs Relating to Environmental Restoration of U.S. Uranium Production Facilities." Rapport final non publié, établi pour le compte de l'Energy Information Administration, Golden, Colorado, États-Unis, mars 2000.

**Tableau 5. Production d'uranium et coût de fermeture des sites des usines de traitement et des installations connexes relevant du Titre II**

Rubriques	Valeur
Sites (nombre)	29
Production d'uranium	
Minerai traité (millions de tonnes de minerai)	220,80
U produit (tonnes)	29 3237,00
Coût de fermeture enregistré dans la pratique :	
Coût moyen (USD/t de minerai)	2,69
Coût le plus bas (USD/t de minerai)	0,67
Coût le plus élevé (USD/t de minerai)	11,33
Coût moyen (USD/kg d'U)	2,03
Coût le plus bas (USD/kg d'U)	0,45
Coût le plus élevé (USD/kg d'U)	20,41
Coût moyen de fermeture par site (29 sites ; millions d'USD)	21,00
<b>Total général (29 sites ; millions d'USD)</b>	<b>594,00</b>

**Note :** Lorsque les coûts relatifs à l'usine de Shootaring Canyon sont exclus, s'agissant des coûts de fermeture enregistrés dans la pratique, la valeur du coût moyen de fermeture est de 2,66 USD par tonne de minerai et 2,00 USD par kilogramme d'uranium. Les valeurs du coût moyen de fermeture par site et du total général sont arrondies au million de USD le plus proche.

**Tableau 6. Coût de fermeture des sites de production d'uranium dans le cas des usines et installations connexes relevant du Titre I et du Titre II**

Rubriques	Valeur
Coût moyen de fermeture par site (54 sites ; en millions d'USD)	42
Total général (54 sites ; en millions d'USD)	<b>2 286</b>

**Note :** Voir les Tableaux 4 et 5 pour les données relatives aux sites de production d'uranium relevant respectivement du Titre I et du Titre II et aux statistiques de coûts de fermeture correspondantes. Les valeurs relatives au coût moyen de fermeture par site et au total général sont arrondies au million d'USD le plus proche.

**Tableau 7. Production d'uranium et coût de fermeture des sites de mines**

Rubriques	Valeur
Sites (nombre)	21
Production d'uranium	
Minerai traité (millions de tonnes de minerai)	
U produit (tonnes)	110 405,00
Coût de fermeture enregistré dans la pratique :	
Coût moyen (USD/t de minerai)	3,10
Coût le plus bas (USD/t de minerai)	0,24
Coût le plus élevé (USD/t de minerai)	33,33
Coût moyen (USD/kg d'U)	2,64
Coût le plus bas (USD/kg d'U)	0,18
Coût le plus élevé (USD/kg d'U)	42,78
Coût moyen (USD/ha de terrain perturbé)	29 957,00
Coût le plus bas (USD/ha de terrain perturbé)	2 337,00
Coût le plus élevé (USD/ha de terrain perturbé)	269 531,00
Coût moyen de fermeture par site (21 sites ; million d'USD)	14,00

t de minerai = tonne de minerai      kg d'U = kilogramme d'uranium      ha = hectare

**Note :** Voir au Tableau 3 les données relatives à la production d'uranium et les statistiques de coûts de fermeture relatives aux mines. La valeur relative au coût moyen de fermeture par site est arrondie au million d'USD le plus proche.

## • Fédération de Russie •

### Complexe minier et chimique de Priargoun (PPGHO)

#### *Caractérisation du site*

La société d'État « Complexe minier et chimique de Priargoun » (PPGHO) a été le seul centre de production d'uranium en activité dans la Fédération de Russie au cours de la dernière décennie. Ce centre est situé dans la région de Tchita, à moins de 20 km de Krasnokamensk, qui compte environ 60 000 habitants. Le PPGHO comprend les installations suivantes (figure 1) :

- Trois mines souterraines d'uranium en exploitation et deux mines à ciel ouvert épuisées.
- Une usine hydrométallurgique et une usine d'acide sulfurique.

- Des mines à ciel ouvert de charbon et de manganèse à Ourtoui.
- La centrale thermique de Krasnokamensk.
- Des ateliers et des locaux techniques.

Figure 1. Unités d'exploitation de Priargoun

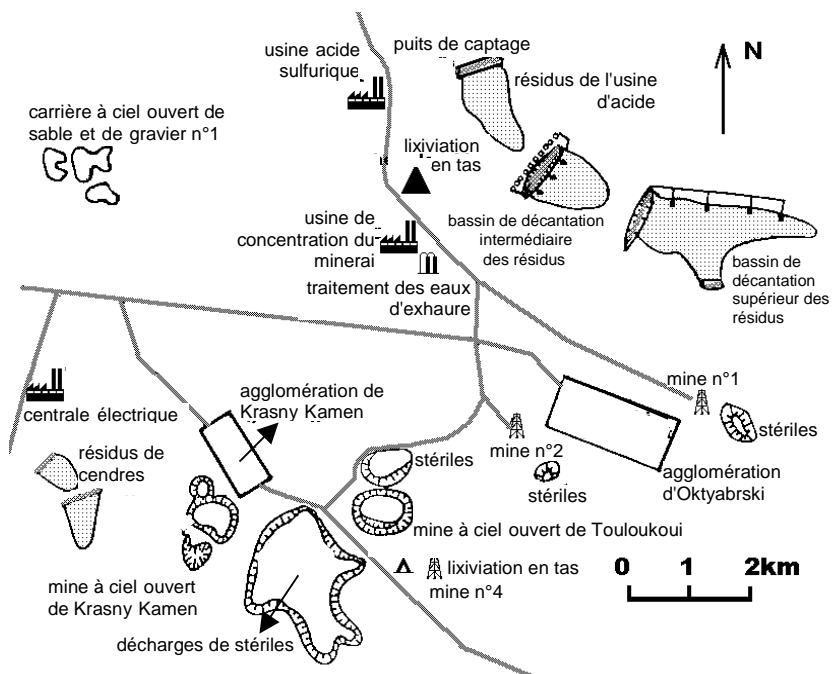


Table 1. Dates principales des mesures prises dans le domaine de l'environnement

1969	Construction de l'installation de traitement des effluents domestiques et industriels ;
1973	construction des bassins de décantation des résidus de l'usine d'acide sulfurique et de l'usine de concentration ;
1974	démarrage du traitement et de la production d'uranium ;
1977	organisation du laboratoire de surveillance de l'environnement ;
1988	création du Département de la protection de l'environnement.

Deux mines à ciel ouvert (maintenant épuisées) et trois mines souterraines faisaient encore l'objet récemment d'une exploitation minière. La concentration et le traitement du minerai ont été opérés dans l'usine hydrométallurgique locale par lixiviation à l'acide sulfurique, avec récupération ultérieure au moyen d'un procédé par échange d'ions et extraction par solvant. À l'heure actuelle, la majeure partie de la production provient de l'exploitation souterraine de minerais à teneur relativement élevée (0,3 à 0,4% d'U). Depuis la fin des années 80, une quantité limitée (inférieure à 100 t d'U/a) est produite par des méthodes de lixiviation en tas et en place (ou en gradins) à partir de minerais à faible teneur. Le niveau élevé de la production globale d'uranium (environ 100 000 t) fait du PPGHO l'un des plus importants centres de production du monde.

La production est alimentée par 19 gisements de type volcanique situés dans le district uranifère de Streltsovsk. Cette zone s'étend sur une superficie de 150 km<sup>2</sup>, et la teneur moyenne en uranium est de l'ordre de 0,2%. Environ 75% des ressources se trouvent à une profondeur comprise entre 200 et 600 m. Ces filons minéralisés sont répartis à différents niveaux dans des roches sédimentaires et volcaniques stratifiées. Environ 25% des ressources sont situés à des niveaux plus profonds compris entre 400 et 900 m et sont liés à deux importants gisements à forte teneur renfermés dans du granit (gisement d'Antei) et du marbre (gisement d'Argounskoe) du socle.

La minéralisation est pour une large part guidée par des structures en filons (veines et stockwerk). On y trouve des minerais monométalliques d'uranium et des minerais polymétalliques d'uranium et de molybdène. Depuis la découverte du district en 1963, 10 gisements ont été mis en exploitation, dont huit en souterrain et deux à ciel ouvert.

### **Type de contamination**

Depuis 1968, la production d'uranium a engendré une importante quantité de déchets solides, liquides et gazeux (voir tableau 1).

Tableau 1. **Caractéristiques générales des déchets**

<b>Type de déchets</b>	<b>Superficie (ha)</b>	<b>Quantité (millions de t)</b>	<b>Teneur en U (%)</b>	<b>Radioactivité (10<sup>-9</sup> Ci/kg)</b>	<b>Émanations de radon (10<sup>-3</sup> Ci/m<sup>2</sup>·a)</b>
Résidus de traitement	377	40,0	0,009	30-750	0,93-23,2
Déchets de l'usine d'acide	125	5,6	Traces	30-250	–
Décharges de stériles	340	153,0	0,002	27 - 80	0,84-2,50
Tas de minerais à faible teneur	70	28,0	0,009	27-350	0,84-11,0

La contamination radioactive s'étend sur une superficie totale de 842 ha, dont :

- 723 ha de sites industriels présentant un débit d'exposition compris entre 60 et 240 µR/h.
- 119 ha de zones contrôlées de protection sanitaire et d'observation présentant un débit d'exposition pouvant atteindre 60 µR/h.

Une évaluation environnementale qui s'étendra sur plus d'une vingtaine d'années est axée sur deux problèmes majeurs :

- L'accumulation croissante de déchets radioactifs liquides et solides.
- La contamination radioactive progressive des systèmes hydrogéologiques naturels qui représente une menace pour l'approvisionnement en eau.

Le principal risque de contamination pour les eaux souterraines tient aux infiltrations potentielles d'effluents provenant des bassins de décantation des résidus de l'usine hydrométallurgique et de l'usine d'acide sulfurique.

### **Tas de résidus d'extraction**

Les activités d'extraction entraînent les formes de contamination suivantes :

- Rejet de gaz radioactifs et de fumées de tir dans l'atmosphère.

- Rejet d'eaux d'exhaure contaminées.
- Accumulation de décharges de déchets et de minerais de teneur sub-économique.

À l'heure actuelle, l'exploitation minière de l'uranium fait surtout appel à des méthodes en souterrain. L'extraction d'une tonne de minerai donne lieu à la production d'environ 0,2 à 0,4 t de stériles ou de minerai de teneur sub-économique. Plus de 150 millions de tonnes de stériles et plus de 2,7 millions de tonnes de minerai de teneur sub-économique se sont accumulées dans 30 décharges depuis 1968. Plus de 5,6 millions de tonnes de minerai de teneur faible ou insuffisante doivent faire l'objet d'une lixiviation en tas. La superficie des tas de stériles dépasse 340 ha.

La plupart des décharges ne sont pas très radioactives. Néanmoins, elles peuvent entraîner la migration de radionucléides dans l'atmosphère, le sol et les eaux. Il importe de signaler que les concentrations de radon et de nucléides émetteurs alpha à vie longue, à une distance de 100 à 250 m des tas sont proches des niveaux du fond naturel. Le débit d'exposition décroît, passant de 50 à 100 µR/h au niveau des tas de déchets à 20-25 µR/h à une distance de 200 à 250 m de ces derniers.

### ***Traitement des eaux d'exhaure***

Les eaux d'exhaure sont radioactives, infectées par des bactéries et très minéralisées. La production annuelle représente un volume d'environ 8,5 millions de mètres cubes. Depuis 1993, les eaux d'exhaure et les eaux provenant du traitement du minerai ont été traitées dans une station spéciale d'épuration des eaux usées installée dans l'usine de concentration. La station est dotée d'un circuit de précipitation utilisant des réactifs chimiques - lait de chaux, polyacrylamide (comme flocculant) et mélantérite (vitriol vert). Sa capacité nominale est de 1 000 m<sup>3</sup>/h, et son taux d'utilisation réel en 1999 a été de 456 m<sup>3</sup>/h. Les eaux traitées sont débarrassées des matières en suspension, des radionucléides, du manganèse, des métaux lourds et de l'uranium. En ce qui concerne l'uranium, le manganèse et les radionucléides, l'efficacité du traitement dépasse les 90%.

Environ 5,4 millions de mètres cubes d'eaux d'exhaure traitées sont utilisés chaque année pour satisfaire les besoins de l'usine de concentration, tandis que les 2,6 millions de mètres cubes restants sont déversés dans le lac Oumykeï. Cette eau est aussi utilisée pour préparer le matériau de remblayage souterrain. Toutefois, les eaux d'exhaure traitées ne peuvent encore servir à aucun autre usage (agriculture, eau de distribution, etc.). On procède actuellement à la modernisation du matériel.

Quelque 4 millions de mètres cubes d'eaux d'exhaure ont été traités en 1999 et les 4,4 millions de mètres cubes restants ont été déversés dans des bassins de décantation des résidus. En 1999, on a récupéré 5,8 t d'uranium et 263 t de manganèse à partir des eaux d'exhaure.

### ***Usine de concentration du minerai***

L'usine de concentration traite de grandes quantités de minerai uranifère (jusqu'à 3 500 t par jour) et consomme beaucoup d'eau (jusqu'à 3-4 m<sup>3</sup> par tonne de minerai traité par lixiviation). Seules les eaux d'exhaure traitées sont utilisées pour le procédé de traitement du minerai.

La concentration des émissions d'aérosols gazeux, des nucléides émetteurs alpha à vie longue, de radon et de ses produits de filiation, ainsi que de poussières de minerai, est faible. Le plus souvent, ce sont des substances chimiques non radioactives, mais dangereuses, qui nuisent à l'environnement. Par exemple, de l'ammoniac et des oxydes d'azote sont rejetés dans l'atmosphère. La limite de rejet pour chaque source de contamination est établie au niveau de l'usine de concentration et fait l'objet d'un contrôle périodique. D'importantes quantités de déchets solides et liquides produits au cours du traitement sont évacuées dans les bassins de décantation des résidus.

## Résidus

Les déchets issus de l'usine de concentration sont contenus dans deux bassins de décantation des résidus : le bassin supérieur « Verhnee » et le bassin intermédiaire « Srednee » (tableau 2). Le bassin Verhnee est celui qui est utilisé principalement depuis plusieurs années, le bassin Srednee n'ayant servi que pendant la réparation des canalisations. Le tableau 2 indique le volume des bassins de décantation, tandis que les tableaux 3 et 4 présentent la composition chimique des déchets liquides et solides, ainsi que des eaux souterraines. La teneur en uranium des déchets solides de l'usine de concentration est de 0,010%.

Tableau 2. Volumes des bassins de décantation des résidus

Paramètres	Bassin Verhnee	Bassin Srednee	Résidus de l'usine d'acide
Hauteur de la digue de retenue (m)	706	660	648,8
Nappe phréatique (m)	697,8	656,7	642,3
Hauteur autorisée (m)	698	658	646,1
Hauteur de la couverture de protection (m)	699	659	347,7
Volume du bassin (m <sup>3</sup> )	46 055 000	3 377 000	6 179 000
Superficie du bassin (m <sup>2</sup> )	3 025 000	741 000	1 251 000
Superficie de la nappe phréatique (m <sup>2</sup> )	1 775 000	384 000	1 021 000

Tableau 3. Composition chimique des eaux des bassins de décantation des résidus de l'usine de concentration et de l'usine d'acide ainsi que des eaux souterraines en mg/l (radionucléides en 10<sup>-11</sup> Ci/l)

Élément	Eaux usées de l'usine de concentration	Eaux épurées du bassin Srednee	Bassin de décantation des résidus « Verhnee »		Bassin de décantation des résidus de l'usine d'acide		Eaux souterraines de la vallée de Chirondoukouï
			Eau de recyclage	Eau dans les puits de captage	Eau dans les puits de captage	Eaux usées	
pH	5,70	6,90	5,90	6,60	7,00	3,00	7,40
NH <sub>4</sub>	401	49	92	17,40	7,40	14,50	7,50
SO <sub>4</sub>	9 110	5 760	8 841	4 100	2 462	4 376	70
NO <sub>3</sub>	333	571	492	161	205	328	20
F	136	27	152	1,61	1,20	32	3,40
Fe	80	5	18	0,10	20,40	229	3,40
Pb	0,23	0,20	0,24	< 0,20	0,28	0,75	0,08
Cu	0,20	0,20	< 0,20	< 0,20	0,50	67,00	0,10
Zn	13	0,43	14	< 0,20	0,20	173	0,20
U	1,68	0,25	0,90	0,14	0,35	0,39	0,05
Mn	1 256	370	1 270	8,00	0,10	90	0,60
As	0,60	0,55	0,56	–	–	5,50	< 0,50
<sup>226</sup> Ra	2,66	0,63	2,28	0,33	0,91	1,21	0,27
<sup>230</sup> Th	9,13	3,88	6,29	1,12	2,79	5,12	–
<sup>210</sup> Po	4,37	1,35	2,66	0,54	1,18	1,11	–
<sup>210</sup> Pb	4,70	1,58	3,10	0,73	1,26	1,31	–

Les bassins de décantation de résidus représentent une importante source potentielle de contamination pour l'environnement. Avant traitement, les résidus de l'usine de concentration contiennent des radionucléides tels que le  $^{226}\text{Rn}$ , le  $^{230}\text{Th}$ , le  $^{210}\text{Po}$  et le  $^{210}\text{Pb}$ . À cause des poussières en suspension dans l'air, c'est le  $^{222}\text{Rn}$  et ses produits de filiation qui constituent la principale émanation. Les infiltrations d'effluents liquides au travers du fond des bassins de décantation des résidus peuvent atteindre les eaux souterraines et les contaminer. Des concentrations élevées d'ion sulfate, de manganèse, de cuivre et d'ion nitrate ont été décelées dans quelques puits de captage situés à proximité des résidus de traitement.

### **Gestion des déchets**

Pour assurer la gestion des déchets, on a recours à une étude de l'environnement conformée aux lois et directives nationales. L'étude de l'environnement du PPGHO est exécutée par les services suivants :

- Le Département de l'environnement qui coordonne les activités de tous les services et divisions en matière d'environnement.
- Les services chargés de l'environnement des installations, qui surveillent la pollution atmosphérique et les concentrations des produits chimiques dangereux dans les effluents liquides.
- Le service de sûreté radiologique et radio-écologique, qui surveille les déchets industriels et les émissions radioactives dans l'atmosphère, le sol et l'eau.

À Priargoun, les limites annuelles d'accumulation et de rejet de déchets solides et liquides sont fixées à 150 000 t pour les minerais de teneur sub-économique en uranium, 300 000 t pour les stériles, 2 800 000 m<sup>3</sup> pour les eaux d'exhaure traitées, et 22 500 000 m<sup>3</sup> pour le rejet total annuel autorisé d'eaux usées.

**Tableau 4. Composition chimique des déchets solides présents dans les résidus de l'usine de concentration et de l'usine d'acide en 1999 (en % et en Bq/kg pour les radionucléides)**

<b>Composant</b>	<b>Déchets de l'usine de concentration</b>	<b>Calcinat de l'usine d'acide</b>
SiO <sub>2</sub>	62,600	11,180
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,800	3,480
CaO	7,400	2,500
CaF <sub>2</sub>	1,060	0,350
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,130	75,800
S, total	2,860	4,020
Zn	0,016	0,210
Cu	0,005	0,370
U	0,010	0,002
$^{226}\text{Ra}$	5 180	55
$^{230}\text{Th}$	35 431	1 066
$^{210}\text{Po}$	40 774	736
$^{210}\text{Pb}$	32 449	1 058



Les activités suivantes visent à réduire l'incidence négative des stériles sur l'environnement :

- Arrosage des surfaces occupées par des déchets générateurs de poussières, et des routes.
- Réaménagement des tas de stériles.
- Utilisation des stériles non radioactifs à des fins industrielles, par exemple, pour les digues des bassins de décantation des résidus, la construction de routes et d'ouvrages de génie hydraulique.
- Développement de la lixiviation en tas et en gradins des minerais à faible teneur.

Le problème de l'utilisation des stériles et du réaménagement des décharges est considéré comme urgent et devrait bientôt trouver une solution. Le projet du réaménagement des mines à ciel ouvert de Touloukouï et de Krasny Kamen a été adopté.

L'un des principaux problèmes en matière d'environnement concerne l'approvisionnement en eau. À l'heure actuelle, toutes les eaux usées (évacuation des eaux de procédé, effluents de la centrale électrique, eaux d'exhaure épurées) sont déversées dans le système de plans d'eau intérieurs Oumykeï. Quelque 69 % des eaux d'exhaure traitées sont utilisées pour la concentration et le traitement du minerai, les 31 % restants étant rejetés dans le lac Oumykeï. La modernisation des anciennes installations et la construction de nouvelles stations de traitement des eaux d'exhaure devaient selon les plans être achevées en 2000. Des aménagements complémentaires des systèmes d'approvisionnement en eau de même que la décontamination des eaux d'exhaure et de procédés permettra au PPGHO de :

- Mettre fin au prélèvement d'eau dans la rivière Argoun et de sauvegarder le bassin de stockage.
- Rejeter l'excédent d'eaux usées ménagères et industrielles épurées dans la rivière Argoun.
- Réduire le rejet d'eaux usées dans le lac Oumykeï.

C'est le bassin de décantation des résidus qui présente le risque le plus grave, vu la grande quantité de déchets radioactifs présents et son remplissage excessif. Il existe une menace potentielle d'une rupture de digue avec infiltrations d'effluents en direction des rivières Ourouloungouï et Argoun dans le cas du bassin de décantation des résidus de l'usine de concentration. Les activités liées à la protection de l'environnement comprennent :

- Un contrôle de la neutralisation des résidus afin de réduire la teneur en substances toxiques des eaux décantées provenant des résidus.
- Le renforcement des digues et l'édification d'un barrage de protection près des puits d'eau potable.
- La construction de nouveaux puits de captage en aval de la digue du bassin de décantation et l'augmentation du rendement des puits existants.
- La surveillance hydrogéologique à l'aide de puits spéciaux.

Toutefois, la construction d'une station spéciale de traitement des effluents liquides est considérée comme la solution la plus efficace.

Les mesures suivantes sont prises actuellement pour réduire les émissions de radionucléides dans l'atmosphère :

- Fermeture des galeries, des puits de recherche et des puits de ventilation des mines anciennes ou de réserve.
- Isolement des mines souterraines par un remblayage spécial et du béton.
- Saturation complète par le l'eau de la surface des bassins de décantation des résidus et des plages pour la lutte contre les poussières.
- Modernisation des filtres de la centrale électrique pour réduire les émissions de cendres dans l'atmosphère.

Les activités en matière d'environnement, y compris le réaménagement du territoire et des sites d'évacuation de déchets, seront achevées à mesure que les installations fermeront.

### *Surveillance*

Le Laboratoire de sûreté radiologique et le Laboratoire d'essai et de radiochimie des déchets assurent une surveillance systématique.

### *Atmosphère*

La zone de protection sanitaire intégrée dépasse 100 km<sup>2</sup>. Un certain nombre de postes de surveillance permanente de l'atmosphère sont installés dans cette zone afin de contrôler la concentration des éléments chimiques les plus toxiques, de <sup>222</sup>Rn, de nucléides émetteurs alpha à vie longue, d'uranium naturel, de <sup>226</sup>Ra, de <sup>230</sup>Th, de <sup>210</sup>Po et de <sup>210</sup>Pb. Les émissions de substances toxiques ne dépassent pas les limites et sont imputables à des unités qui ne traitent pas l'uranium. Le contrôle radiologique du personnel et l'environnement dans les mines et l'usine de concentration montre que les niveaux dans le cas des facteurs dangereux (énergie latente, émanation de radon, contamination alpha, débit de dose, etc.) sont généralement en deçà des limites admissibles.

La surveillance de l'atmosphère dans les zones industrielles et résidentielles, porte sur le dioxyde de soufre, l'oxyde d'azote, le dioxyde de carbone, l'ammoniac et les poussières. Les quantités relevées représentent de 9 à 74 % des limites admissibles. Les concentrations les plus élevées visent l'oxyde d'azote et le dioxyde de soufre rejetés par la centrale électrique et l'usine d'acide sulfurique.

Les résultats relatifs à environ 500 échantillons d'air prélevés chaque année à Krasnokamensk indiquent que seul l'ammoniac et le dioxyde de soufre dépassent légèrement les limites. La concentration des substances toxiques (poussières, NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>) est surveillée également sur les sites de lixiviation en tas et dans les résidus de l'usine de concentration et de l'usine d'acide sulfurique. Dans quelques cas seulement, les quantités de poussières dépassent les limites fixées.

Le débit de dose annuel de rayonnements délivré à la population n'excède pas 1 mSv. L'état de l'environnement en ce qui concerne les rayonnements et les substances chimiques toxiques est désormais conforme aux normes et prescriptions sanitaires nationales.

## *Eaux souterraines*

La surveillance des eaux souterraines s'effectue à l'aide d'un réseau de 111 puits de surveillance locale situés autour des résidus, des sites de lixiviation en tas, des tas de scories, etc. La surveillance exercée sans interruption dans les puits de captage et d'observation autour des résidus montre que la migration du panache de contamination a cessé en 1997 par suite de la construction d'un nouveau système de puits de récupération. En 1998, l'analyse a porté sur 326 échantillons d'eau (7 800 mesures d'éléments). La qualité de l'eau potable est conforme aux normes sanitaires, à l'exception de la concentration de fluor, imputable à la composition naturelle de cette eau.

## *Surface*

La surveillance exercée à l'intérieur des zones de protection sanitaire des résidus de l'usine de concentration et de l'usine d'acide (42 postes d'observation), des résidus de la centrale électrique (huit postes d'observations) et des tas de stériles a pour objet de déceler la contamination radioactive du sol. Les principales mesures portent sur la composition chimique et les propriétés physiques, ainsi que l'estimation du volume et de la superficie des bassins de décantation.

En septembre 1999, les mesures de surveillance ont porté sur la terre et l'herbe situées près des bassins de décantation des résidus dans le but d'évaluer la contamination dans la zone de protection sanitaire.

## *Coûts de protection de l'environnement*

Le complexe du PPGHO constitue une installation intégrée qui comprend des unités comportant la présence d'uranium (mines, usine de concentration et bassin de décantation de l'usine de concentration) et d'autres où il ne s'en trouve pas (centrale électrique, mines de charbon et de manganèse à ciel ouvert, etc.). Toutes ces unités nécessitent des activités liées à la protection de l'environnement. Certaines installations sont mentionnées au tableau 5. Il importe de signaler que le coût des activités de la protection de l'environnement dans les installations liées à l'uranium ne représente qu'environ 30 % de l'ensemble des coûts et qu'il augmentera notablement en 2000 par rapport à 1999. La plupart des coûts liés à l'uranium sont imputables à la décontamination en surface et au traitement des déchets, ainsi qu'aux travaux de réaménagement exécutés sur les sites de l'usine de concentration, du bassin de décantation des résidus, des décharges de stériles et des mines.

Tableau 5. **Activités liées à la protection de l'environnement et coûts connexes encourus en 1999 et prévus en 2000** (en milliers d'USD)

Activités et coûts	Coûts en 1999	Coûts en 2000
<b>Protection de l'atmosphère</b> : Lutte contre les poussières dans les zones d'extraction minière et des bassins de décantation, modernisation des filtres de la centrale électrique, travaux de réparation à l'usine d'acide, lutte contre les poussières dans les mines de charbon et de manganèse à ciel ouvert, etc.		
<b>Coûts des mesures de protection de l'atmosphère</b>	<b>636</b>	<b>287</b>
Coûts liés à l'uranium	2	36
<b>Protection des eaux</b> : Reconstruction des conduites d'acide et de boues, modernisation de la station de traitement des eaux d'exhaure, trop-plein de la mine de charbon à ciel ouvert, traitement des effluents domestiques, tour de refroidissement de la centrale électrique, etc.		
<b>Coûts des mesures de protection des eaux</b>	<b>143</b>	<b>1 654</b>
Coûts liés à l'uranium	83	79

Tableau 5. **Activités liées à la protection de l'environnement et coûts connexes encourus en 1999 et prévus en 2000** (en milliers d'USD) (suite)

Activités et coûts	Coûts en 1999	Coûts en 2000
<b>Réaménagement en surface et gestion des déchets solides</b> : Réaménagement des sites de l'usine de concentration, des bassins de décantation des résidus et des mines, levés de l'activité gamma, aménagement du site de la nouvelle mine, réaménagement des décharges de déchets des mines à ciel ouvert, reconstruction de la centrale électrique, etc.		
<b>Coûts du réaménagement en surface et de la gestion des déchets solides</b>	<b>448</b>	<b>1 321</b>
Coûts liés à l'uranium	179	962
<b>Surveillance</b> : Surveillance générale, eaux souterraines, atmosphère, sites de lixiviation en tas et en gradins, bassins de décantation des résidus.		
<b>Coûts de la surveillance</b> (Coûts liés à l'uranium)	28	39
<b>TOTAL</b>	<b>1 255</b>	<b>3 301</b>
<b>Sous-total des coûts liés à l'uranium</b>	292	1 116

### Entreprise d'État de Lermontov « Almaz »

#### Caractéristiques du site

La première organisation à produire de l'uranium dans la Fédération de Russie a été le Complexe de Lermontov – dénommé actuellement l'Entreprise d'État de Lermontov « Almaz ». Almaz se trouve à 1,5 km de la ville de Lermontov, dans la région de Stavropol. La région comprend les gisements uranifères de type filonien de Bechtaou et de Byk, dont les ressources en uranium représentent au total 5 300 t d'U ayant une teneur de 0,1 %. Deux mines souterraines ont été exploitées à partir de 1950. Les mines N°1 (Bechtaou) et N°2 (Byk) ont été fermées respectivement en 1975 et en 1990. Le minerai a été traité par lixiviation à l'acide sulfurique à partir de 1954 dans l'usine de concentration de la ville de Lermontov, puis de 1965 à 1984, également par lixiviation en place en souterrain et par lixiviation en tas. À compter des années 80 jusqu'en 1991, du minerai d'uranium provenant d'Ukraine et du Kazakhstan a aussi été traité par « Almaz ». La production d'uranium a cessé depuis 1991, mais le traitement du concentré de flottation d'apatite se poursuit dans cette usine pour produire des engrais. La production totale d'uranium s'est élevée à 5 685 t, dont 3 930 t extraites de mines souterraines et 1 755 t obtenues par des techniques en gradins.

#### Type de contamination

La contamination radioactive s'étend sur 134 ha, dont 79,7 ha de bassins de décantation des résidus de l'usine de concentration et 54,4 ha de décharges de stériles. Leurs caractéristiques sont indiquées dans le tableau 6.

Tableau 6. **Caractéristiques générales des déchets d'« Almaz »**

Déchets	Superficie (ha)	Quantité (t)	Activité alpha (Ci)	Activité bêta (Ci)
Bassin de décantation des résidus	79,7	14 047 000	26 998	18 624
Déchets de la Mine N°1 (Bechtaou)	36,0	4 425 000	1 353	2 343
Déchets de la Mine N°2 (Byk)	18,4	3 961 000	830	586
<b>TOTAL</b>	<b>134,1</b>	<b>22 433 000</b>		

La principale source de contamination de l'environnement résulte des émanations de  $^{222}\text{Rn}$  à partir du bassin de décantation des résidus et de la migration de substances toxiques (y compris des radionucléides) du bassin de décantation vers les eaux souterraines (voir tableau 7).

La contamination des eaux souterraines a résulté du drainage des eaux de l'usine de concentration vers le premier aquifère situé sous l'aquifère du fond du bassin, dans des marnes datant de l'Éocène, surtout au cours des premières années d'exploitation de l'usine de concentration. La teneur moyenne annuelle en uranium dans l'aquifère de marnes a atteint de  $30$  à  $94 \times 10^{-6}$  g/l, s'élevant même à  $170 \times 10^{-6}$  g/l dans certains puits d'observation (contre un fond naturel de  $7$  à  $25 \times 10^{-6}$  g d'U par litre). Les teneurs actuelles des eaux souterraines ne dépassent pas les limites admissibles.

Tableau 7. **Concentration et émissions de  $^{222}\text{Rn}$  dans l'atmosphère**

Zone	Rayonnements ( $\mu\text{R/h}$ )	Concentration de $^{222}\text{Rn}$		Émanations de radon (Ci/a)
		(Bq/l)	( $10^{-10}$ Ci/l)	
Bassin de décantation des résidus	120-230	2.7-12,0	0.7-3,2	125
Stériles de la Mine N°2 (Byk)	40-100	2.0 -7,0	0.5-1,9	35

Les autres contaminants potentiels comprennent les solutions résiduelles provenant de la lixiviation en gradins en souterrain.

### ***Gestion des déchets et réaménagement***

#### *Mine N°1 (gisement de Bechtaou)*

Le réaménagement de la plupart des décharges de déchets est achevé. L'équipement nécessaire pour décontaminer les matériaux d'extraction a été installé en 1993, mais ne fonctionne pas pour le moment (les eaux d'exhaure contiennent jusqu'à  $2,2$  mg d'U par litre).

#### *Mine N°2 (gisement de Byk)*

Environ 30 % des travaux de réaménagement des stériles ont été exécutés. La remise en état des sites de lixiviation en tas a été achevée.

#### *Usine de concentration*

Les bâtiments et les zones qui ne sont pas utilisés pour le traitement de l'apatite sont déjà en partie décontaminés et démantelés. Il est nécessaire de poursuivre le réaménagement de certaines zones, notamment des tas de minerai.

#### *Bassin de décantation des résidus*

Les parties supérieures sont actuellement recouvertes partiellement par une couche de phosphogypse, qui est produit en tant que déchet du traitement du concentré d'apatite. On estime qu'il

s'agit d'un bon matériau de couverture permettant de maîtriser les émanations de radon. La partie inférieure du bassin de décantation des résidus est remplie d'eau.

Le gouvernement procède actuellement au réexamen du plan de réaménagement et de déclassement du bassin de décantation des résidus. Ce projet a pour objectifs principaux :

- D'organiser un service spécial de protection de l'environnement.
- De mettre en place une couverture de phosphogypse de 1,5 m d'épaisseur et une couche drainante sus-jacente de terre végétale.
- De reconstruire et d'élargir le système de surveillance.
- De construire un système de dérivation des eaux en cas d'orage.

### **Surveillance**

Le laboratoire de surveillance de l'environnement de l'entreprise procède périodiquement à une surveillance de l'atmosphère et l'eau (sol, précipitations, mine, résidus, usine de concentration). Cette surveillance porte sur les radionucléides et les composants toxiques (voir tableaux 7 et 8).

Tableau 8. **Concentration de  $^{222}\text{Rn}$  dans l'air près du sol**

Site	Rayonnements ( $\mu\text{R/h}$ )	$^{222}\text{Rn}$ ( $\text{Bq/m}^3$ )
Bassin de décantation, décharge N°4		
Partie nord et canalisation de boues	130-210	2 700- 3 000
Sites des bassins de décantation	200-230	4 000-12 000
Mine N°2 et usine de concentration		
Débouché du tunnel de la mine	40	17 000
Sites miniers	15-100	2 000-71 000
Stériles réaménagés	46	3 000
Stériles non réaménagés	95	3 000
Tas de minerai réaménagés	38	–
Tas de minerai non réaménagés	620	800

Le programme actuel d'évaluation environnementale comprend :

- L'analyse des données relatives à la composition des eaux souterraines et de surface à l'intérieur des mines et sur le site de l'usine de concentration.
- L'évaluation de l'approvisionnement en eau de distribution, ainsi que des ressources d'eaux minérales.
- Le levé systématique du territoire par spectrométrie gamma.
- Des études radiométriques, radiologiques et géochimiques à l'appui de l'évaluation environnementale des zones industrielles et résidentielles.

## • Finlande •

### **Politiques et réglementation des pouvoirs publics**

Toutes les activités minières en Finlande sont régies par la Loi minière No. 503/65.

La législation concernant la réhabilitation (rémédiation) des installations de production d'uranium en Finlande est incluse dans la Loi sur l'énergie nucléaire No.990 de 1987. L'objectif de cette loi est d'assurer que l'usage de l'énergie nucléaire est compatible avec les intérêts généraux de la société. Cette loi définit les principes généraux de réglementation des usages de l'énergie nucléaire et de mise en place une procédure de demande d'autorisation et de gestion des déchets nucléaires. L'utilisation de l'énergie nucléaire comprend les activités suivantes : construction et exploitation d'une installation nucléaire ; exploitation minière et de concentration de l'uranium et du thorium ; possession, fabrication, production, transfert, manipulation, utilisation, stockage, exportation, transport et importation de substances et déchets nucléaires et exportation ou importation de minerais contenant de l'uranium ou du thorium.

Le Ministère du commerce et de l'industrie est l'autorité compétente au premier chef dans le domaine de l'énergie nucléaire en Finlande. Il incombe au Centre finlandais de radioprotection et de sûreté nucléaire [*säteilyturvakeskus – STUK*] de superviser les questions d'énergie nucléaire.

La Loi sur l'énergie nucléaire impose l'obtention d'une autorisation pour la construction et l'exploitation d'installations nucléaires y compris les installations d'entreposage de combustible irradié ou de déchets radioactifs, et les mines et usines d'enrichissement produisant de l'uranium ou du thorium. L'autorisation de construire une installation nucléaire est soumise à l'approbation de principe du Conseil d'État qui base sa décision sur l'exigence de compatibilité avec les intérêts de la société dans son ensemble. Si cette approbation est obtenue, la décision du Conseil d'État est soumise au Parlement finlandais qui peut l'accepter ou la rejeter. Avant que le Conseil d'État ne prenne sa décision, une longue procédure de consultation très large doit être suivie couvrant une évaluation d'impact sur l'environnement suivant la Loi No. 468/94. En particulier le Ministère du Commerce et de l'Industrie doit obtenir de STUK une évaluation préliminaire de sûreté de la proposition soumise ainsi qu'une déclaration du Ministère de l'environnement et du conseil municipal responsable de la zone dans laquelle l'installation sera située. En outre, conformément au Décret No. 161/88, le Ministère du Commerce et de l'Industrie doit soumettre au Conseil d'État un rapport couvrant les questions de gestion des déchets nucléaires telles les méthodes proposées, les aspects de sûreté et de protection de l'environnement, les coûts et l'adaptation aux conditions finlandaises.

Après que toutes les informations et commentaires requis par la législation finlandaise aient été collectés et soumis au Conseil d'État, ce dernier prend sa décision en conformité avec la loi. Si cette décision est positive, elle doit être soumise au Parlement qui la confirme ou s'y oppose. Après approbation du Parlement, la délivrance d'une autorisation de construction demeure conditionnée à la satisfaction d'un certain nombre de critères relatifs entre autres à la protection de l'environnement, aux exigences du plan d'urbanisme et d'occupation des sols, à la gestion des déchets et aux plans de déclassement final. Si un demandeur satisfait toutes ces exigences, une autorisation de construction pour l'installation proposée peut être accordée par le Conseil d'État. Après achèvement de la construction de l'installation, une autre autorisation est nécessaire pour son exploitation. Cette autre autorisation est également accordée par le Conseil d'État après examen de différents critères comme la sûreté, la protection de l'environnement et la gestion des déchets.

Conformément à la Loi No. 990, à quelques exceptions près, l'exportation de combustible irradié n'est pas permise et il est interdit de manipuler d'entreposer ou d'évacuer en Finlande des déchets nucléaires étrangers. Le détenteur d'une autorisation est le responsable principal de la gestion des déchets nucléaires issus de l'activité autorisée et doit supporter les coûts associés. En pratique, cette exigence se traduit par l'obligation pour le détenteur d'une autorisation de verser une redevance annuelle au fond national pour les déchets nucléaires [*State Nuclear Waste Fund*], géré par le Ministère du Commerce et de l'Industrie et de fournir à l'état des garanties obligatoires par mesure de précaution en cas d'insolvabilité de sa part.

Conformément à la législation en vigueur en Finlande, l'exportation de combustible nucléaire irradié n'est pas autorisée. Les deux principales compagnies d'électricité finlandaises, la société Teollisuuden Voima Oy (TVO) et la société Imatran Voima Oy (IVO, qui fait actuellement partie du Groupe Fortrum) coopèrent dans le domaine de l'évacuation définitive du combustible nucléaire irradié dans de soubassement rocheux de la Finlande. À compter du début de 1996, elles ont constitué une société commune, la société Posiva Oy, chargée d'un programme d'évacuation des déchets nucléaires. Quatre sites de recherche avaient été officiellement sélectionnés en vue d'études détaillées. Il était prévu de choisir en l'an 2000 le site définitif, le 18 mai 2001, le Parlement finlandais a ratifié la décision du gouvernement autorisant la construction d'un dépôt pour l'évacuation définitive du combustible irradié à Olkiluoto dans la municipalité d'Eurajoki. Depuis avril 1998, les déchets de faible et de moyenne activité sont évacués dans des dépôts souterrains implantés sur le site de la centrale de la société TVO à Olkiluoto et sur celui de la centrale de la société IVO à Loviisa.

### **Informations sur les activités passées de la Finlande en matière de réaménagement**

Il n'y a eu qu'une seule mine d'uranium en Finlande. Au cours de la période 1958-1961, quelque 40 000 tonnes de minerai d'une teneur en U de 0,14 % ont été extraites de la mine de Paukkajanvaara en Finlande orientale. Le minerai a été traité à l'acide sulfurique, et le concentré renfermant environ 30 tonnes d'uranium a été exporté. À la suite des opérations minières, l'ouverture du puits a été obturée, mais les stériles et le bassin de décantation des résidus ont été laissés à l'air libre. L'ancienne mine et les résidus ont été recouverts par de la terre non contaminée en octobre 1993. Auparavant, l'ancienne usine de concentration avait été démolie et également recouverte. Le Centre finlandais de radioprotection et de sûreté nucléaires procède à une surveillance de la zone de la mine et de son voisinage depuis 1984.

### **Installations faisant l'objet de plans en cours ou futurs relatifs à des activités de réaménagement**

Il n'existe pas en Finlande de plans en cours ni futurs en vue du réaménagement de mines d'uranium ou d'autres installations.

### **Informations complémentaires**

Les données suivantes s'appliquent à la mine d'uranium de Paukkajanvaara en Finlande orientale.

Exploitation minière au cours de la période 1958-1961 assurée par la société Atomenergia Oy :

- Production totale de la mine : 70 089 tonnes.
- Stériles : 29 764 tonnes.



- Production de minerai 40 325 tonnes (d'une teneur moyenne en U de 0,14 %).
- Le concentré renfermant environ 30 tonnes d'uranium a été exporté.

Réaménagement exécuté en octobre 1993 par la société propriétaire du terrain Bonvesta Oy :

- Zone traitée : environ 1,5 km<sup>2</sup>.
- Le puits et la mine à ciel ouvert ont été foudroyés.
- Le bassin de décantation des résidus et les déblais de stériles ont été recouverts de couches de till, d'argile et de tourbe d'une épaisseur totale de 1,5 à 2 mètres.

## • France •

### Politiques et réglementation des pouvoirs publics

Les dispositions législatives et réglementaires en vigueur en France en ce qui concerne les aspects environnementaux de l'extraction et du traitement du minerai d'uranium sont décrites dans un rapport établi en 1999 conjointement par l'AEN et l'AIEA<sup>1</sup>.

Les principales catégories de règlements applicables au réaménagement de l'environnement des sites de mines et d'usines de traitement de l'uranium comprennent les instruments suivants :

- Les mines sont fondamentalement régies par le Code minier, complété par le Règlement général des industries extractives (RGIE) (Décret N°80.331 du 7 mai 1980) et en particulier le Décret N°90.222 du 9 mars 1990 pour les questions de radioprotection.
- Les usines de traitement et les stockages sont classés en tant que ICPE (Installations classées pour la protection de l'environnement) – Loi N°76.663 du 19 juillet 1976 et Décret N°77.1133 du 21 septembre 1977.
- Les études d'impact sur l'environnement sont prescrites en vertu de l'article 2 de la Loi N°76.629 du 10 juillet 1976 relative à la protection de la nature et du Décret d'application N°77.1141 du 12 octobre 1977.
- Le Décret N°66.450 du 20 juin 1966 établit le cadre de la radioprotection et le Décret N°90.222 du 9 mars 1990 décrit la mise en œuvre de la radioprotection dans l'environnement des sites des mines et des usines de traitement.

---

1. AEN/OCDE (1999), *Aspects environnementaux de la production d'uranium*, Rapport établi conjointement par l'AEN et l'AIEA, Paris, France.

- En ce qui concerne la radioprotection, la mise en œuvre de la Directive 96/29/Euratom du 13 mai 1996 dans la réglementation française devrait être effective en décembre 2001. La valeur maximale du taux annuel d'exposition totale ajoutée (TAETA) pour le public sera ramenée de 5 mSv à 1 mSv.
- Une circulaire N°99-332 du 7 mai 1999 du Ministère de l'environnement décrit les principaux faits ayant trait au réaménagement des résidus de traitement de l'uranium et des sites de stockage des déchets de lixiviation en tas et formule des recommandations en vue d'en évaluer l'efficacité.

### **Informations historiques et générales sur les installations existant en France**

- Le tableau 1 fournit des détails concernant les différentes installations, notamment les dates d'exploitation, la date d'achèvement du réaménagement (ou la date de l'autorisation finale après réaménagement), les caractéristiques des installations de stockage et d'autres données pertinentes. Le tableau 1 indique aussi la référence de chaque site dans l'inventaire annuel officiel de l'ANDRA : 20 références en 1999 [1], 18 références dans l'inventaire en préparation pour l'an 2000 (actualisé à la fin de 1999).
- La figure 1 indique l'emplacement des principales installations ainsi que les dates d'exploitation et de réaménagement.

### ***Caractérisation des installations***

Les installations prises en considération dans le présent rapport sont celles qui ont trait au traitement du minerai d'uranium. Elles comprennent les usines de traitement de l'uranium et les bassins de décantation des résidus qui y sont liés ainsi que les décharges de lixiviation en tas.

### ***Résidus (volume, superficie)***

Les caractéristiques en matière de volume et de superficie de chaque installation sont indiquées dans le tableau 1.

### ***Type de contamination radiologique et chimique***

La principale préoccupation concerne l'incidence radiologique des produits de filiation de l'uranium soit par voie atmosphérique (radon), soit par voie aquatique (uranium et <sup>226</sup>Ra).

La contamination chimique potentielle est liée à la composition initiale du minerai (souffre ou molybdène, par exemple) ou aux produits chimiques utilisés pour le traitement (principalement acide sulfurique, d'où neutralisation nécessaire).

### ***Objectifs du réaménagement***

Les principaux objectifs de réaménagement que s'est fixé la Cogéma sont les suivants :

- Assurer la stabilité pérenne de la zone réaménagée en termes de sécurité et de salubrité publique.
- Réduire autant que raisonnablement possible les impacts résiduels.
- Prévenir tout risque de remise en cause par intrusion intempestive.
- Réduire la surface des terrains soumis à servitudes d'usage.
- Favoriser la reconversion du site ou son ouverture à des activités de surface.
- Réussir pleinement l'intégration paysagère, en concertation avec les intervenants locaux.

### ***Contexte du réaménagement***

Les travaux de réaménagement s'appliquent aux structures qui subsistent à la fin de l'exploitation minière : mines, usines de traitement et installations de stockage des stériles ou des résidus de traitement.

Le réaménagement fait partie intégrante de la politique en matière d'environnement de la Cogéma. En outre, depuis la promulgation des lois sur l'environnement en 1976, le réaménagement est mentionné dans l'étude d'impact sur l'environnement, qui est obligatoire pour toute nouvelle installation ou pour une modification importante d'une installation existante.

C'est au stade de la planification des exploitations que l'on prend en compte le réaménagement final qui doit démarrer aussi tôt que possible. Les cas de figure idéaux sont par exemple l'existence de mines à ciel ouvert dans le voisinage qui peuvent être remblayées à l'aide de stériles provenant des installations qui vont être exploitées.

En cours d'exploitation, des provisions financières sont constituées en prévision de la couverture des coûts du réaménagement final.

Le public est tenu régulièrement informé par courrier envoyé à la population avoisinante. Un numéro de téléphone est mis à la disposition du public et des visites sont organisées afin de prendre connaissance des éventuelles préoccupations exprimées par des personnes n'appartenant pas à la Cogéma. Des programmes analogues de communication sont prévus pour le personnel qui a été formé et transféré des activités de production d'uranium au réaménagement du site.

### ***Principaux faits concernant le réaménagement***

Le rapport conjoint AEN – AIEA de 1999<sup>2</sup> présente certains faits concernant les activités de réaménagement menées en France.

---

2. *Ibid.*

## Inventaire en vue de la caractérisation des sites

Celui-ci comprend :

- L'historique de l'activité menée sur le site qui permet parfois de localiser des déchets enfouis ou des canalisations enterrées.
- L'inventaire de l'usine de traitement afin d'évaluer la contamination de surface et choisir le matériel réutilisable.
- L'inventaire des propriétés foncières.
- L'inventaire des matériaux de couverture disponibles. L'inventaire des tas et des stockages en termes de tonnages et de composition chimique.

Les études de site contribuent à caractériser les matériaux, les stockages, les incidences potentielles (carte de la radioactivité) et l'environnement : géologie, hydrogéologie et géophysique des sites, hydrologie, stabilisation du sol, végétation, etc.

Figure 1. **Emplacement des stockages des mines et usines de traitement de l'uranium en France**



Note: going on = en cours ; operating = en exploitation ; mill tailings = résidus de traitement ; heap leaching piles = décharges de lixiviation en tas.

Début – fin d'exploitation = fin du réaménagement (ou date de l'autorisation de surveillance).

Tableau 1. Inventaire des installations de stockage de la Cogéma – résidus de traitement

Sites de stockage	Référence inventaire ANDRA 1998	Année de début/fin de l'exploitation	Fin des travaux de réaménagement	Résidus de traitement	
				Type de stockage et de réaménagement	Superficie (ha)
GUEUGNON (lixiviation dynamique)	BOU 3	1955 / 1980	autorisation en 1987	endiguement annulaire + couverture sèche	3
ROPHIN	AUV 2	1950 / 1955	1985	endiguement annulaire + couverture sèche	3
TEUFELSLOCH ()	ALS 2	1961 / 1963	1994	–	
TEUFELSLOCH (minerai pauvre)				–	
Les Bois Noirs (lixiviation dynamique)	RHO 1	1960 / 1980	autorisation en 1987	endiguement + couverture d'eau	18 (bassin de décantation)
CELLIER (lixiviation dynamique)	LAR 1	1970 / 1990	1991	mine à ciel ouvert +300 kt inter-erbeded drain+cover	66 (site industriel)
(lixiviation en tas)		1965 / 1990			
TOTAL					
ECARPIERE (lixiviation dynamique)	PAY 3	1957 / 1991	1995	endiguement annulaire + couverture sèche	72
La COMMANDERIE (lixiviation en tas)	PAY 2	1967 / 1976	1994	–	
TOTAL					
BESSINES (site industriel)	LIM 3	Ce site industriel regroupe plusieurs stockages (LAV, BGD) destinés aux résidus de traitement			140
LAVAUGRASSE	voir LIM 3	1958 / 1978 + boues	en cours	endiguement annulaire + couverture sèche	voir Bessines
BRUGEAUD		1978 / 1987+	en cours	mine à ciel ouvert/ couverture sèche	voir Bessines
MONTMASSACROT	LIM 10	1987 / 1990	entièrement recouvert	mine à ciel ouvert/ couverture sèche	4
BELLEZANE	LIM 1	1988 / 1993	1997	mine à ciel ouvert/ couverture sèche	15
BRUGEAUD (lixiviation en tas)	voir LIM 3	1964 / 1993	1999	–	
BRUGEAUD (lixiviation en tas)	voir LIM 3	1964 / 1993	1999	–	
TOTAL					
LODEVE	LAR 4	1981 / 1997	en cours	mine à ciel ouvert/ couverture sèche	54
JOUAC (lixiviation dynamique)	LIM 7	1979 / en exploitation	–	endiguement annulaire	
(lixiviation en tas)					
TOTAL					
La RIBIERE (lixiviation en tas)	LIM 12	1982 / 1985	1992	–	
BERTHOLENE	MIP 1	1984 / 1995	tas dans l'attente d'une couverture sèche définitive		
St PIERRE du CANTAL	AUV 3	1977 / 1985	en cours	mine à ciel ouvert/ couverture sèche	
TOTAL					
TOTAL (lixiviation dynamique)					
(lixiviation en tas)					
(minerai pauvre)					
TOTAL					

**et déchets de lixiviation en tas (mise à jour à la fin de 1999)**

Résidus de traitement (suite)		Déchets de lixiviation en tas			
Tonnage (kt)	Activité de <sup>226</sup> Ra (Tbq)	Type de stockage et réaménagement	Superficie (ha)	Tonnage (kt)	Activité de <sup>226</sup> Ra (Tbq)
185	10,4	-			
30	0,3				
		tas/couverture sèche	1,3	1,45	0,03
				(2,6)	(0,04)
1 300	74,6	-			
1 112	20,4	mélange à des déchets de lixiviation en tas	voir superficie totale du site industriel	288	3,5
164	1,2	tas + couverture		4 080	18,0
1 276	21,6			4 368	21,5
7 575	167,5	déchets de lixiviation en tas utilisés comme première couche de couverture...pour les résidus de traitement		3 775	15,6
		couverture de stériles/ mine à ciel ouvert noyée		250	1,0
7 575	167,5			4 025	16,7
et déchets de lixiviation en tas					
5 678	141,5	déchets de lixiviation en tas utilisés comme première couche de couverture		1 807	3,6
5 776	129,5	...pour les résidus de traitement	-	1 555	4,8
737	19,0		-		
1 514	48,5		-	42	0,6
		tas/couverture sèche	voir Bessines	1 763	5,5
		tas/couverture sèche	voir Bessines	3 447	1,7
13 705	338,5			8 614	16,2
4 142	173,9	minerai pauvre utilisé comme première couche de couverture sèche		(823)	(7,5)
1 668	103,6			41	0,2
1 668	103,6			41	0,2
		mine à ciel ouvert/ couverture sèche		197	0,9
		tas en attente de couverture sèche définitive		476	7,57
70	2,4	mine à ciel ouvert/ couverture sèche		508	5,4
70	2,4			508	5,4
29 762	889,8			4 063	19
164	1,2			14 167	49
				(826,6)	
29 926	891,0			18 230	68,5

La géochimie et l'analyse pétrographique des résidus de traitement ont démontré que la lixiviation naturelle du radium était limitée : moins de 1 % de la teneur en radium dans le cas des résidus de traitement stockés contre 10 % pour des résidus de traitement fraîchement produits. Cela peut s'expliquer par la formation rapide (en moins de 30 ans) de minéraux secondaires à grandes surfaces spécifiques tels que les smectites, les oxyhydroxides de fer et le gypse qui piègent 95 % de l'ensemble des radionucléides et des métaux lourds associés [2 à 4]. Ce processus peut être qualifié d'« auto-confinement », qui améliore la stabilité chimique des résidus.

Une étape importante est constituée par la mise en œuvre de planches d'essai en vue de caractériser *in situ* les différents types de couverture qui peuvent être utilisés : types de matériaux parmi ceux disponibles sur le site (déchets de lixiviation en tas, stériles et/ou morts-terrains résultant de l'exploitation minière), influence du compactage et incidence correspondante sur le flux de radon.

### *Mise en œuvre pour les principaux types de sites*

Mines souterraines – À la fin des travaux d'exploitation minière, la priorité est accordée à la sécurité du public à long terme. Chaque communication avec la surface est remblayée afin d'éviter toute intrusion et les chambres d'abattage sont stabilisées pour éviter tout éboulement. Les procédures connexes sont soumises aux autorités réglementaires et peuvent être complétées par des études spécifiques.

Mines à ciel ouvert – incidences sur le paysage. En tant que première étape, la fosse peut être partiellement remplie de stériles (plusieurs milliers voire millions de tonnes de terre peuvent être déplacés) et/ou le profil des pentes peut être adouci à l'aide d'explosifs pour des raisons de sécurité. Selon le cas, la mine à ciel ouvert peut être transformée en bassin d'eau destiné à l'irrigation, à la pêche, à la plongée ou à d'autres fins.

Les décharges de minerais lixiviés en tas et les zones fortement radioactives des anciennes aires de stockage sont recouvertes de stériles (les minerais restants des anciens stockages sont décapés et peuvent servir de première couche de couverture). Les décharges sont remodelées afin de réduire l'érosion en surface et l'infiltration et en vue d'une meilleure intégration dans le paysage, laquelle peut être améliorée par la revégétalisation.

Stockages de résidus – Pendant le réaménagement, le système de drainage est maintenu afin de permettre de détremper la masse des résidus et de recueillir l'eau d'infiltration. L'eau de surface est détournée afin de réduire les volumes d'eau pouvant exiger une épuration.

La stabilité des stockages des résidus de traitement doit être améliorée par l'assèchement et le reprofilage des pentes des digues afin de parvenir à un coefficient de stabilité approprié.

Des planches d'essai sont construites afin de déterminer l'épaisseur de la couverture rocheuse nécessaire pour parvenir à réduire l'exposition externe et l'émanation du radon. Cette épaisseur est ajustée en utilisant une première couche de minerai lixivié en tas s'il est disponible, afin de faire face au tassement, de réduire la pente, l'érosion et l'infiltration et finalement de parvenir à une topographie finale intégrée au paysage. La couverture finale peut être en terre végétale afin d'améliorer la revégétalisation.

Le traitement des eaux doit être adapté par rapport à celui utilisé en cours d'exploitation de manière à faire face à une nouvelle qualité de l'eau (eau de débordement provenant des chantiers miniers) et à un nouvel emplacement du point de collecte. Le traitement de l'eau est poursuivi jusqu'à ce que la qualité de l'eau permette un rejet direct dans l'environnement. La gestion des boues doit être

planifiée. Un stockage d'un volume suffisant doit être construit et des matériaux de couverture stockés au voisinage en vue de son réaménagement final. Des descriptions plus détaillées des questions de réaménagement sont données dans divers rapports [5 à 9].

À la fin des travaux de réaménagement, l'état final est contrôlé – topographie, circuits d'eau, cartographie de la radioactivité, et développement de la végétation. Ce contrôle est complété par un audit interne dans le cadre des procédures d'assurance de la qualité de la Cogéma.

#### *Types de surveillance et de suivi à long terme*

Selon les types de stockage, deux types de surveillance peuvent être requis après le réaménagement :

- Une surveillance géotechnique afin de s'assurer de la stabilité du tas de déchets (tassements, stabilité des pentes) et de l'intégrité de la couverture.
- Une surveillance de l'eau et de l'air ambiants afin de s'assurer de la qualité des effluents liquides et des incidences sur la population et l'environnement.

Le réseau de surveillance est adapté par rapport à celui qui était utilisé au cours de la phase d'exploitation. Le traitement et la surveillance des eaux peuvent être progressivement réduits en fonction des résultats observés. La surveillance fait l'objet d'une autorisation.

Pour le public, les incidences radiologiques prises en considération sont la somme de l'exposition externe due à l'inhalation de radon et de poussières et à l'ingestion d'U/Ra. Le Décret N°90.222 définit un scénario générique permettant de calculer le taux annuel d'exposition totale ajoutée (TAETA). Ce taux doit être inférieur à 1-5 mSv/an (l'exposition maximale totale étant de 5 mSv/an).

La difficulté qu'il y a à estimer l'exposition initiale (c'est-à-dire avant le début de l'exploitation) contribue habituellement à la surestimation de l'exposition.

Les résultats de la surveillance, mettant en lumière certains exemples d'influence directe des travaux de réaménagement (couverture et énergie alpha potentielle du radon, qualité des eaux rejetées et traitement des eaux) et leur application au calcul de l'exposition du public sont présentés dans Daroussin et col. [10].

Au cours de la surveillance du site, des bilans réguliers sont effectués afin de vérifier le retour progressif à un équilibre naturel et stable. Après une période probatoire, la Cogéma peut demander un allègement du niveau des contrôles et finir par obtenir un abandon définitif du site et la réutilisation pour de nouvelles activités par des intervenants locaux, à l'exception des stockages de résidus de traitement qui doivent demeurer sous la responsabilité et la supervision de la Cogéma.

À long terme, l'aspect le plus important est de garder la mémoire des sites de stockage. Cela implique une triple stratégie :

- La Cogéma demeure propriétaire des installations de stockage.
- Les responsabilités à sa charge sont spécifiées dans l'autorisation délivrée à la fin du réaménagement et enregistrées auprès du service des hypothèques.
- Un inventaire national des déchets radioactifs, incluant les résidus du traitement du minerai d'uranium est publié chaque année par l'ANDRA (Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs) [1].



## **Installations faisant l'objet d'activités de réaménagement en cours ou prévues**

Jouac était la seule installation en exploitation en France jusqu'au 31 mai 2001, date à laquelle Cogéma a cessé les activités d'extraction minière sur le site.

Des travaux de réaménagement sont encore en cours à Bessines (site industriel regroupant celui de Lavaugrasse et les différents stockages du Brugeaud), à Lodève, à St. Pierre du Cantal et à Bertholène.

Bessines est un ensemble de sites industriels où l'exploitation minière en souterrain et à ciel ouvert a démarré en 1955. Le traitement et la lixiviation en tas ont été mis en œuvre après 1958. Lavaugrasse (bassin de décantation de type à endiguement annulaire) constitue la première installation de stockage des résidus de traitement. Les résidus ont ensuite été stockés dans la mine à ciel ouvert du Brugeaud. Une ouverture dans la couverture a été maintenue dans la partie supérieure du dépôt de Lavaugrasse afin de stocker des boues provenant des stations de traitement des eaux du site et de sites miniers du voisinage.

L'exploitation a cessé à Lodève en 1997. L'usine de traitement a été démantelée. Les équipements, rebuts et produits de démolition contaminés sont stockés dans une aire réservée à cet effet au-dessus des résidus et sont recouverts. Les conditions locales (climat et variabilité correspondante des débits, haute teneur en uranium) ont conduit à concevoir une station de traitement des eaux permettant :

- De conférer de la souplesse au débit traversier.
- De récupérer l'uranium avec des résines.
- De limiter la production de boues.

Les travaux de réaménagement progressent lentement à St. Pierre du Cantal. En raison des conditions locales, les travaux se limitent aux périodes estivales, l'objectif étant de recouvrir le dernier bassin de décantation des boues.

À Bertholène, le réaménagement est en attente. Dans cette installation de lixiviation en tas, les matériaux de couverture sont riches en soufre qui n'a pas été complètement éliminé par la lixiviation : en conséquence, après remodelage des pentes, la couverture finale a été différée afin de permettre la dissolution naturelle des minéraux soufrés présents. Le traitement des eaux est maintenu en fonctionnement afin de permettre un rejet d'eau de bonne qualité. Les boues sont pressées et transportées par camions à Jouac pour être traitées en raison de leur teneur en uranium.

## **Coûts de réaménagement**

### ***Données globales sur les coûts***

Depuis 1990, des travaux de réaménagement ont été menés concernant la plupart des installations de la Cogéma. Des évaluations des coûts futurs ont été effectuées pour les travaux restant à exécuter afin de provisionner pour les dépenses futures.

Le coût total pour un ensemble moyen d'installations produisant plus de 1 000 t d'U/an (environ 500 000 t de minerai par an soit 1 500 t/jour de production pour les sites miniers, l'usine de traitement et les installations de stockage correspondantes) est compris entre 10 et 13 FRF par kg d'U.

### **Coûts totaux afférents à des articles et objets spécifiques**

Le démantèlement de l'usine de traitement proprement dite coûte environ 15 à 20 millions de FRF.

Les dépenses afférentes au démantèlement et au réaménagement du site s'élèvent en moyenne à 400 000 FRF par hectare. Les coûts les plus élevés sont encourus pour le démantèlement des installations d'usine et le réaménagement des stockages de résidus, qui revient en moyenne à 1,1 million de FRF par hectare.

Les coûts totaux de réaménagement d'un ensemble d'installations de production d'uranium (de la mine au stockage de résidus) se décomposent en :

- Études de planification, d'ingénierie et préalables à la délivrance d'autorisation : 10 %.
- Démantèlement (ensemble des installations) : 20 %.
- Opérations de terrassement : 45 %.
- Travaux de finition, y compris revégétalisation : 15 %.
- Traitement des eaux et contrôles : 10 %.

Les coûts de réaménagement d'un stockage de résidus se décomposent en :

- Études de planification, d'ingénierie et préalables à la délivrance d'autorisation : 10 %.
- Travaux de terrassement : 75 %.
- Travaux de finition, y compris revégétalisation : 15 %.

### **Références**

- [1] ANDRA (1999), *État et Localisation des Déchets Radioactifs en France*, Inventaire établi par l'Observatoire de l'ANDRA, 583 pages, <http://www.andra.fr>.
- [2] Ruhlmann F., Pacquet A., Reyx J., Thiry J. (1996), *Evidence of Diagenetic Processes in Uranium Mill Tailings from Écarpière Uranium Deposit* (Preuve de phénomènes de diagénèse dans les résidus de traitement de l'uranium provenant du gisement d'uranium de l'Écarpière), *Proceedings Waste Management, WM 1996 Tucson, AZ*, février 25-29.
- [3] Daroussin J-L., Pfiffelmann J.P., Ruhlmann F. (1998), *Réaménagement de Sites Miniers : l'Exemple du Site d'extraction et de Traitement de Minerai d'Uranium de l'Écarpière*, *Chronique de la Recherche Minière, BRGM Editor*, N°533 pp. 31-41.

- [4] Daroussin J-L., Pfiffelmann J.P. (1993), *Uranium Mining and Milling Sites Remediation – Its Impact on the Environment* (Réaménagement des sites d'extraction et de traitement du minerai d'uranium : incidences sur l'environnement), The Uranium Institute Annual Symposium 1993.
- [5] Daroussin J-L., Pfiffelmann J.P. (1994), *Milling sites remediation – Elements for a Methodology as Developed in France by Cogéma* (Réaménagement des sites d'usines de traitement – éléments d'une méthodologie élaborées en France par Cogéma), IAEA RER/9/022 Projet régional de coopération technique pour le réaménagement des sites en Europe centrale et Europe de l'Est, Deuxième Atelier, Piestany, République slovaque, I 1-15 avril 1994, IAEA TECDOC N°865 pp. 97-112.
- [6] Crochon Ph., Daroussin J-L. (1994), *Remediation of Écarpière Uranium Tailings Pond by Cogéma (France)* (Réaménagement par Cogéma du bassin de décantation des résidus d'uranium à l'Écarpière (France)), IAEA RER/9/022 Projet régional de coopération technique pour le réaménagement des sites en Europe centrale et Europe de l'Est, Troisième Atelier, Rez, République tchèque, 12-16 décembre 1994, IAEA TECDOC N°865 pp. 139-152.
- [7] Crochon Ph., Bernhard S., Daroussin J-L. (1995), *Remediation of Écarpière (France) Uranium Tailings Pond by Cogéma : Environmental Impact compared to 1 mSv limit*, International Symposium on Environmental Impact of Radioactive Releases, Poster ref. T2-SM-339/154P, IAEA, Vienna, Austria, 8-12 mai 1995.
- [8] Bof M., Loriot O., Villeneuve A. (1998), *Le Réaménagement des Sites Miniers en France*, Les Cahiers de Cogémagazine, 31 pages, Direction de la Communication Cogéma.
- [9] Daroussin J-L., Bernhard S., Granet D. (2000), *Remediation and Corresponding Impact of French Uranium Mining and Milling Sites (Cogéma)* (Réaménagement et incidences correspondantes des sites d'extraction et de traitement du minerai d'uranium en France), P-4a-249 retenu pour faire l'objet d'un exposé oral T-19(2)-4, 10ème Congrès de l'AIARP, 14-19 mai 2000, Hiroshima Japon.
- [10] Somot S. (1997), *Radium, Uranium et Métaux dans les Résidus de Traitement Dynamiques Acides et Alcalins de Minerais d'Uranium*, Thèse Université de Nancy I.

## • Gabon •

### Introduction

Le Gabon a mené des opérations d'extraction du minerai d'uranium à partir de 1956. Jusqu'à la fermeture définitive des mines en 1999, le Gabon figurait parmi les principaux pays producteurs d'uranium. Toutes les activités de production d'uranium ont été menées par la Compagnie des mines d'uranium de Franceville (COMUF). On trouvera ci-après dans le tableau 1 un récapitulatif des données relatives aux installations de production d'uranium.

## Législation applicable

- Loi N°011/99, qui est la Loi minière fondamentale au Gabon.
- Loi sur l'environnement N°16/93 portant sur l'amélioration et la protection de l'environnement du 26 août 1993, qui contient un volet sur les activités minières.

Tableau 1. Mines avec les dates de découverte et de fermeture

Site	Découverte	Début de l'exploitation	Fin de l'exploitation	Total exploité (t d'U)	U (%)
MOUNANA - mine à ciel ouvert	1956	1960	mars 1975	3 915	0.49
- mine souterraine		1968	1971	1 844	0.49
BOUYINDZI - mine souterraine	1967	1980	avril 1991	2 691	0.31
OKLO - mine à ciel ouvert	1968	1970	1985	7 242	0.45
- mine souterraine		1977	décembre 1993	8 100	0.32
OKLOBONDO - mine souterraine	1974	1989	novembre 1997	3 500	0.33
MIKOULOUNGOU - mine à ciel ouvert	1965	juin 1997	mars 1999	1 200	0.28
<b>TOTAL</b>				<b>28 492</b>	<b>0.38</b>

Source: COMUF

## Programme de réaménagement des sites de la COMUF à Mounana

Le contrat SYSMIN N°1/97/6A a été passé le 13 février 1997 avec la Société ALGADE par le Commissariat au Plan et au Développement du Ministère de la Planification de la République gabonaise. L'étude en question a permis de déterminer les dispositions applicables à la gestion des résidus issus des opérations industrielles de la COMUF à Mounana (extraction et traitement du minerai d'uranium) et d'établir une procédure de réaménagement des sites.

La méthodologie de réaménagement proposée est fondée sur les principes de justification et d'optimisation de la radioprotection recommandés par la Commission internationale de protection radiologique (CIPR), dans sa Publication 60 et les suivantes, et énoncés par l'AIEA dans son programme « RADWASS » relatif à la gestion des déchets radioactifs.

Ces principes servent de base à la définition des critères fondamentaux applicables en vue d'assurer la sûreté d'une installation utilisée pour stocker les déchets solides issus de l'extraction et du traitement du minerai d'uranium, soit en service, soit après l'arrêt des opérations d'exploitation. Ainsi, la dose efficace annuelle susceptible d'être reçue par les individus des groupes de référence de la population présente et future doit être inférieure à 1 mSv. Ce critère de limite de dose de 1 mSv a donc été retenu pour le programme de réaménagement des sites de la COMUF. Pour atteindre cet objectif, il a été décidé de procéder par étapes.

### *Étape 1 : Caractérisation de l'état radiologique des sites*

La COMUF a procédé à un examen comportant :

- Des dispositifs de comptage selon un réseau de 20 x 20 m.
- Des cartes topographiques des sites.
- Une évaluation de l'état radiologique dans l'environnement immédiat des installations afin de déterminer les zones à confiner et/ou à réaménager et les zones à assainir.

Cet état des lieux a ainsi permis de distinguer sept zones à réaménager représentant au total environ 60 ha. Il s'agit de :

- L'ancienne mine à ciel ouvert de Mounana.
- La zone amont de la vallée de Gamambougou entre l'ancienne carrière de Mounana et l'atelier d'acide sulfurique.
- La zone de la vallée de Gamambougou en amont de la digue (entre la digue et l'atelier d'acide sulfurique).
- La zone aval de la vallée de Gamambougou (en aval de la digue jusqu'au confluent avec la Mitembé).
- La zone du confluent avec la Mitembé.
- Le thalweg au sud de la nouvelle usine 2.
- Le thalweg au nord de la nouvelle usine 2.

Les travaux à réaliser dans ces zones consistent notamment :

- À traiter et à confiner les résidus de traitement.
- À recouvrir ces résidus d'une couche de latérite et de roches.
- À assurer la revégétalisation.

Les sept zones à assainir, représentant au total environ 15 ha, sont les suivantes :

- Le carreau du puits de Boyindzi.
- La verse de l'ancienne usine 1.
- La zone à proximité de l'atelier d'acide sulfurique.
- La zone de stockage du minerai « douteux » et « appauvri » proche de l'unité d'alimentation.
- La zone de stockage du minerai à proximité du puits d'OKLO.
- La zone de livraison du minerai à proximité du puits d'OKLO.
- La tête de la mine à ciel ouvert d'OKLO.

À ces zones recensées dans l'étude exécutée par la société ALGADE, il convient d'ajouter les zones suivantes dans lesquels les plans prévoient des travaux de décapage des sols contaminés et la mise en place d'une couverture de latérite :

- La zone de stockage de Mitembé.
- Les aires de stockage du minerai du carreau de la mine d'OKLO.

- L'aire d'alimentation de l'usine 2.
- La plate-forme de l'usine 2.
- Les pistes industrielles.
- La plate-forme de l'atelier de solvant.
- La plate-forme de l'usine 1.

Il s'agit de zones qui ont servi, soit au roulage du minerai d'uranium, soit au stockage de minerai d'uranium avant traitement à l'usine, soit au stockage de résidus et divers effluents de traitement.

### ***Étape 2 : Étude et définition des principaux travaux à réaliser***

Les travaux de réaménagement visent à :

- Garantir la sûreté à long terme du public.
- Faire en sorte que le niveau des incidences radiologiques résiduelles soit le plus bas qu'il soit raisonnablement possible d'atteindre.
- Assurer la stabilité physique des zones de stockage des résidus.
- Préciser les utilisations futures des espaces réaménagés.
- Favoriser l'intégration paysagère.

Pour atteindre ces objectifs, il y aura lieu de :

- Regrouper les produits à gérer afin de limiter au maximum les zones susceptibles d'entraîner un impact sur les populations.
- Confiner les produits, soit sous eau, soit sous couverture solide, compte tenu des contraintes géotechniques et radiologiques.

### ***Étape 3 : Caractérisation et évaluation de l'impact résiduel du site après réaménagement***

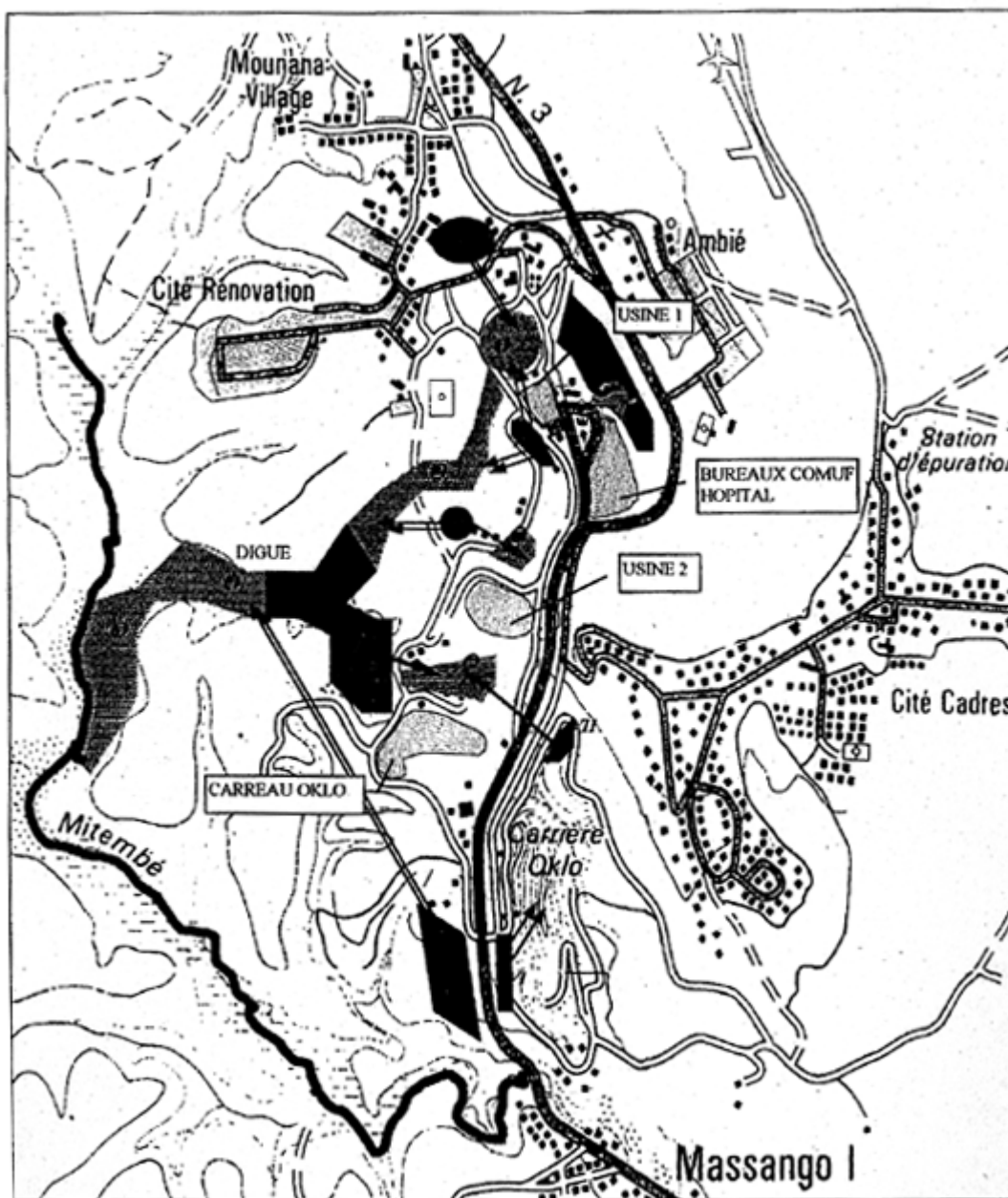
Cette évaluation a comporté une estimation des doses efficaces susceptibles d'être reçues par les groupes de référence des populations futures sur les sites réaménagés.

### ***Étape 4 : Nature des travaux d'assainissement***

Il s'agit essentiellement de maîtriser l'effet radiologique des sources et non pas de gérer les sources elles-mêmes. Aussi, pour chacune des zones à traiter, la nature des travaux à y entreprendre a-t-elle été définie compte tenu de l'objectif radiologique à atteindre. État d'avancement des travaux de réaménagement

On trouvera au tableau 2, le calendrier de réalisation du programme de réaménagement, ainsi que les principales activités de remise en état du site et de démantèlement des installations industrielles exécutées en 1999 et à mener 2000 et au delà.

Figure 1. Réaménagement du site de la COMUF site  
(localisation des zones à remettre en état)



**Zones à réaménager**

- 1 Mine à ciel ouvert de MOUNANA
- 2 Vallée de la Gamambougou : Amont cote 402
- 3 Vallée de la Gamambougou : :Amont de la digue
- 4 Vallée de la Gamambougou : Aval de la digue
- 5 Zone du confluent avec la Mitembé
- 6 Thalweg sud
- 7 Thalweg nord

**Zones à assainir**

- I Carreau du puits de Boyindzi
- II Verse de l'ancienne Usine 1
- III Zone proche de l'atelier d'acide sulfurique
- IV Zone d'alimentation
- V Stockage du minerai
- VI Stockage du minerai
- VII Tête de la mine à ciel ouvert Oklo

Tableau 2. **Planning des opérations de démantèlement et du réaménagement du site**

ANNÉES	1998				1999				Post 1999							
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	2000	2001	2002	2003	2004			
Étude de la société Algade	Réalisés 1997															
Digue sur la Gamambougou																
Démantèlement du puits de Boyindzi																
Réaménagement de la carrière de Mounana																
Thalweg nord																
Thalweg sud																
Zone amont de la vallée de la Gamambougou																
Zone en aval de la digue jusqu'à la Mitembé																
Bouchage des ouvrages débouchant au jour																
Décapage des sols contaminés																
Revégétalisation																
Travaux de réaménagement																
Démantèlement : produits à gérer																
Ancienne usine + remise en état																
Nouvelle usine																
Puits d'OKLO																
Rack entier																
Atelier d'acide sulfurique																
Atelier Solvant																
Silos de l'usine																
Surveillance post-fermeture																

Source : COMUF



## • Hongrie •

Après la cessation des activités de production d'uranium en Hongrie à la fin de 1997, la société de protection de l'environnement Mecsekérc a entrepris les travaux de fermeture et de réaménagement. L'ensemble du projet, qui a été élaboré par cette société, a été approuvé et financé par le Gouvernement hongrois.

En 1998, la société a établi 130 études, projets et rapports qui ont permis une coopération harmonieuse avec les autorités et les collectivités locales en 1999.

Au cours de 1999, trente procédures de passation de marchés ont été lancées en plus de deux appels d'offre internationaux mis en place dans le cadre des programmes PHARE et ISPA.

### **Principales activités en 1999**

#### *Fermeture des installations souterraines*

- Réorganisation des circuits de ventilation.
- Démantèlement des équipements mécaniques et électriques.
- Construction des serrements de fermeture « définitive ».
- Élimination des zones polluées : nitrate d'ammonium mélangé à du mazout (ANFO), pétrole, alcali, acide.
- Remblayage des puits d'extraction et d'aéragage (en totalité ou en partie).

#### *Évaluation finale des ressources et des réserves d'uranium*

#### *Travaux de réaménagement des installations de surface*

- Recherches portant sur les zones polluées du point de vue radiologique et portant sur le pétrole, l'alcali et les acides.
- Décontamination des bâtiments, structures, instruments, outils et matériaux.

#### *Travaux de réaménagement des tas de déchets*

- Entretien des tas revégétalisés : contrôle de l'épaisseur de la couverture de terre végétale, remplacement des végétaux plantés antérieurement.
- Transport de terre végétale destinée à recouvrir les autres tas, notamment les tas lixiviés.
- Construction du fossé de drainage autour du tas de déchets le plus important.

### ***Réaménagement du tas de déchets lixivié N°2***

En raison de la proximité d'une nappe phréatique, il a été nécessaire d'enlever les matériaux du tas de déchets lixiviés N°2. En 1999, 1 704 490 m<sup>3</sup> de matériaux ont été transportés vers le tas de déchets le plus important.

### ***Travaux de réaménagement des bassins de décantation des résidus***

- L'étude de faisabilité relative au réaménagement complet des bassins de décantation des résidus a été acceptée par les autorités et l'établissement des plans d'autorisation a débuté en 1999.
- Les recherches relatives à la couverture ont été achevées.
- Les recherches relatives à la charge en vue de la stabilisation ont été achevées.

### ***Traitement de l'eau d'exhaure***

- Le plan conceptuel est prêt.
- Les plans techniques ainsi que les procédures d'autorisation et de mise en œuvre sont prêts.

### ***Reconstruction des réseaux d'alimentation en eau et d'égouts***

### ***Mise en place de la protection de l'environnement***

- Réalisation de 604 m de nouveaux forages à des fins de surveillance.

### ***Création d'une base de données sur l'état sanitaire final des anciens employés***

## **Principales activités en 2000**

### ***Achèvement des travaux en souterrain***

### ***Réaménagement des installations en surface***

- Démantèlement et démolition de l'usine de traitement du minerai.
- Revégétalisation du site de la principale installation de transport et d'approvisionnement.
- Achèvement de l'enlèvement des matériaux à partir du tas de déchets lixiviés N°2.

### ***Travaux de réaménagement des bassins de décantation de résidus***

- Confinement de la pollution.
- Traitement de l'eau.

- Restauration de la qualité de l'eau.
- Stockage des produits de précipitation issus du traitement de l'eau.
- Achèvement et acceptation des plans de mise en œuvre du réaménagement complet des bassins de décantation des résidus.

### ***Données sur les coûts***

Le montant total des coûts escomptés pour le réaménagement des sites, aux prix de 1997, s'élève à 18,4 milliards de HUF, soit environ 92 millions de USD. La quantité totale d'uranium produite entre 1956 et 1997 a été de 21 251 t d'U.

Ce coût est estimé sur la base des postes suivants :

- Planification, études techniques et procédure d'autorisation : ~ 2%.
- Bassins de décantation des résidus : 163 ha de 11 734 000 à 20 417 000 m<sup>3</sup> environ.
- Tas de stériles : environ 85 ha, 9 872 000 m<sup>3</sup>.
- Usine de traitement par échange d'ions d'une capacité de 1 000 t de minerai par jour, fermé.
- Installations d'extraction en souterrain d'une capacité de 1 000 t de minerai par jour, fermé.
- Zones réaménagées : 303 ha.

## • Japon •

### **Politiques et réglementation des pouvoirs publics**

Les déchets provenant des activités passées de production d'uranium ont fait l'objet d'un contrôle conformément à l'ensemble de la réglementation connexe. La réglementation applicable à la fermeture des mines et usines de traitement de l'uranium est la suivante :

- Installations d'extraction et de traitement du minerai d'uranium : Loi sur la sécurité dans les mines [Loi N°70, 1949], réglementation sur la sécurité dans les mines.
- Matières premières nucléaires : Loi réglementant les matières nucléaires brutes, les combustibles nucléaires et les réacteurs. Loi sur la réglementation nucléaire [Loi N°166 de 1957] modifiée et Règlement sur les matières brutes nucléaires et les opérations de traitement des combustibles nucléaires.

### ***Loi et réglementation sur la sécurité dans les mines***

La réglementation ne vise pas seulement l'extraction et le traitement du minerai d'uranium, mais aussi des produits de base tels que le pétrole, le charbon, la chaux et les minerais métalliques. La

réglementation comporte des dispositions en matière de sûreté radiologique applicables à l'extraction et au traitement de l'uranium en vue de prévenir les dangers des rayonnements.

Si le droit d'exploitation minière est transféré ou abandonné, la Loi sur la sécurité dans les mines prescrit que soit établie l'obligation de prendre des mesures pour prévenir la pollution d'origine minière imputable aux décharges de stériles, aux sites d'évacuation des résidus ou aux excavations abandonnées. La Loi désigne aussi l'entité responsable en la matière.

Le titulaire de droits d'exploitation minière n'est habilité à évacuer des stériles, des résidus et des précipités qu'en ayant recours à des empilements de déblais ou à des bassins de décantation. Les normes techniques de réaménagement des déchets sont fixées dans la réglementation.

L'évacuation des stériles et des résidus est autorisée sous forme de déblais. Il est obligatoire de construire des murs et des barrages de protection pour retenir les effluents. Une fois l'empilement de déchets achevé, le site d'évacuation doit être recouvert de terre végétale et revégétalisé si nécessaire.

La réglementation susmentionnée s'applique à toutes les mines, y compris les mines d'uranium. Dans le cas de ces dernières, l'intensité du rayonnement externe et la présence de matières radioactives dans l'air et l'eau font l'objet d'une attention particulière. Elles font l'objet d'une réglementation visant à empêcher l'exposition des travailleurs comme du public aux dangers des rayonnements. La réglementation est muette sur les suites de la fermeture d'une installation. On estime cependant que dispositions réglementaires visant à protéger les êtres humains des dangers des rayonnements dans une installation en exploitation continuent à être applicable après la fermeture de cette dernière.

### ***Loi sur la réglementation nucléaire (1957)***

Cette loi a pour objet : 1) de limiter les utilisations des matières brutes nucléaires, des combustibles nucléaires et des réacteurs nucléaires à des fins exclusivement civiles ; 2) de prévenir les catastrophes ; et 3) de garantir la sécurité du public. Cette loi ne s'applique qu'au traitement du minerai, et non aux activités de prospection ni d'exploitation minière.

Lorsqu'une installation de traitement est fermée, l'exploitant en retire toutes les matières nucléaires et procède à la décontamination de l'installation ainsi qu'à l'évacuation des matériaux contaminés. Le ministre compétent en matière de réglementation exige que des mesures appropriées soient prises si la fermeture n'a pas été exécutée correctement. Lorsque des matières nucléaires contaminées sont évacuées à l'extérieur de l'installation, des mesures de sûreté sont prescrites aux termes du décret ministériel. Le Ministre ordonne que les mesures requises soient prises lorsque le mode d'évacuation enfreint le décret ministériel.

### **Données rétrospectives sur les activités de réaménagement menées au Japon**

À l'heure actuelle, aucune activité d'extraction et de traitement de l'uranium n'est menée au Japon. Une stratégie visant le plan de réaménagement de l'environnement des installations d'extraction et de traitement situées près de Ningyo-toge dans les préfectures d'Okayama et Tottori est à l'étude au Centre d'ingénierie de l'environnement du JNC (Institut japonais de développement du cycle du combustible nucléaire). Ce plan peut porter sur la stabilisation, l'évacuation et le contrôle de déchets tels que des résidus de traitement de l'uranium, des précipités et des stériles ainsi que d'autres matériaux contaminés. Les installations de l'usine de traitement sont démantelées depuis 1983.

## **Installations faisant l'objet d'activités de réaménagement en cours ou futures**

Toutes les activités décrites ci-après ont trait au réaménagement de l'environnement des installations se trouvant sur le site de Ningyo-toge, préfecture d'Okayama, par exemple.

### ***Installation de traitement***

L'usine de traitement est entrée en service en 1964 et a cessé ses activités en 1981. Le démantèlement de l'installation a été réalisé progressivement entre 1983 et 1990, et entre 1998 et 2001. Le bâtiment est utilisé pour le stockage des matériaux démontés.

### ***Installation de lixiviation en tas***

La récupération de l'uranium à partir du minerai à faible teneur a été effectuée à titre expérimental dans l'installation de lixiviation en tas entre 1979 et 1987. À l'heure actuelle, cette installation est hors service et fait l'objet d'une maintenance. Le démantèlement de l'installation est à l'étude.

### ***Bassin de décantation des résidus de traitement***

Le bassin de décantation des résidus de traitement a été construit en 1964, et a servi à l'évacuation de déchets constitués par des résidus de traitement, des précipités, et du sable de filtres provenant de l'installation de traitement, de l'installation de lixiviation en tas et de la station de traitement des eaux résiduaires. Ces déchets représentaient un volume d'environ 34 000 m<sup>3</sup> en 1999. En outre, les eaux d'exhaure rejetées à partir de l'ancienne galerie, font aussi l'objet d'un stockage temporaire. À l'heure actuelle, un plan de fermeture du bassin de décantation est à l'étude.

### ***Déblais de stériles***

De 1957 à 1986, 18 déblais de stériles ont été constitués. Aujourd'hui, tous ces déblais sont hors service et font l'objet d'une maintenance. Des plans visant la fermeture de tous les déblais sont à l'étude.

### ***Surveillance de l'environnement***

La surveillance de l'environnement sur le site, qui est requise aux termes de la législation et de la réglementation sur la sécurité dans les mines, a été exercée depuis le démarrage des activités minières. Elle comporte la mesure du rayonnement gamma dans l'environnement, de la concentration équivalente à l'équilibre de radon dans l'air, et la concentration d'U et de Ra dans les eaux de surface à proximité des limites du site.

### ***Déblais de stériles, stocks de minerais pauvres (nombre, volume, superficie)***

	<b>Déblais de stériles</b>	<b>Bassins de décantation des résidus</b>
Nombre	18	1
Volume total en m <sup>3</sup>	432 000	34 000
Superficie totale en m <sup>2</sup>	77 000	125 000
<b>Coûts :</b> Le plan relatif aux mesures de réaménagement incluant l'estimation des coûts est actuellement à l'étude.		

## • Kazakhstan •

### Politiques et réglementation des pouvoirs publics

Le Kazakhstan a été l'une des plus importantes régions productrices d'uranium de l'ex-URSS. Plus de 100 indices de minéralisations uranifères, dont 40 sont des gisements commerciaux, y ont été localisés. On a procédé à l'extraction ou à la prospection de l'uranium par des travaux miniers s'accompagnant de la production de déchets radioactifs sur 100 sites.

Trois grands combinats assurant le traitement du minerai d'uranium ont été en exploitation au Kazakhstan : le Combinat de la Caspienne, dans la partie occidentale de la République ; le Combinat de Tselinny, au nord ; et le Combinat d'Oulba, à l'est. Ces combinats ont généré des volumes importants de déchets radioactifs. À l'heure actuelle, le traitement du minerai d'uranium a pratiquement cessé et on ne produit donc plus de déchets radioactifs. Toutefois, la production de pastilles d'uranium génère toujours certains déchets dans le Combinat d'Oulba.

L'extraction minière de l'uranium se fait actuellement par la méthode de la lixiviation *in situ* (LIS) et les déchets solides sont presque entièrement éliminés. En revanche, ce procédé s'accompagne d'une très forte contamination des aquifères métallifères par des radionucléides. Si ces aquifères constituent des sources d'approvisionnement en eau pour des populations, la restauration de la qualité des eaux souterraines pose un problème est très coûteux et très complexe. Si les eaux souterraines ne se prêtaient pas auparavant à l'approvisionnement en eau, les autorités peuvent accorder l'autorisation de ne pas décontaminer ces eaux une fois que l'extraction de l'uranium a cessé.

La plupart des gisements se prêtant à une exploitation par LIS au Kazakhstan sont situés dans des régions où les aquifères métallifères ne conviennent pas pour l'approvisionnement en eau à cause de leur forte salinité et/ou d'une contamination primaire par des radionucléides naturels près de la barrière géochimique de la face d'oxydoréduction. Dans ce cas, les producteurs d'uranium sont autorisés à s'en remettre à l'autorégénération (atténuation naturelle) des aquifères qui prend, en général, de 30 à 40 ans.

À l'avenir, l'extraction de l'uranium ne générera plus d'importantes quantités de déchets. L'utilisation de la LIS contribuera à atténuer le problème de la gestion des déchets radioactifs. En revanche, les déchets radioactifs qui se trouvent sur les anciens sites de traitement classique du minerai posent un grave problème.

Le premier gisement uranifère présentant un intérêt économique, à savoir celui de Kourdaï, a été découvert dans le sud du pays, en 1954. L'exploitation minière de ce gisement a débuté peu de temps après. Pour traiter le minerai du gisement de même que celui provenant des autres mines du sud du pays, le Centre de production kirghize (combinat minier et chimique) est entré en service en 1959, mais ce Combinat et ses résidus de traitement se trouvent maintenant au Kirghizistan. La découverte et l'exploitation de nouveaux gisements uranifères ont abouti à la construction des trois combinats mentionnés plus haut. Les mines et les combinats ont produit environ 235 millions de tonnes de stériles et de résidus. Pendant l'exploitation de ces entreprises, quelques travaux de réaménagement ont été exécutés, mais la plupart des sites demeurent non remis en état.

Dans l'ex-URSS, il n'existait pas de fondement législatif régissant la gestion des déchets radioactifs. Tous les travaux ont été exécutés par l'intermédiaire d'instructions émanant des

ministères. Après l'effondrement de l'URSS, le Kazakhstan a entrepris de se doter d'une base législative. Le pays dispose désormais de la Loi sur l'utilisation de l'énergie nucléaire et d'un projet de loi sur la gestion des déchets radioactifs. Il existe des codes de réglementation visant le déclassement et la remise en état des zones de production. Plusieurs projets de réaménagement des régions où se trouvent des déchets d'extraction et de traitement ont été élaborés, mais aucun d'entre eux n'est en cours d'exécution en raison des difficultés financières que connaît le pays.

Le premier document visant les déchets radioactifs était la réglementation sur l'utilisation de l'énergie atomique, les déchets radioactifs et la gestion du combustible nucléaire usé, adoptée par la résolution N°364 du 11 avril 1994. Le texte a servi de base à l'instauration du système de gestion des déchets radioactifs au Kazakhstan, mais les travaux ont été interrompus à cause des difficultés financières du pays. Le principal facteur de complication tient au fait que les volumes importants de déchets radioactifs existants n'ont plus de propriétaires, par suite de la liquidation des entreprises après l'effondrement de l'URSS. Par décret spécial, le gouvernement du Kazakhstan a confié la responsabilité de la gestion des déchets radioactifs (y compris les déchets d'extraction et de traitement) à la Compagnie nationale de l'énergie atomique « *Kazatomprom* », mais ne lui a alloué aucun budget à cet effet.

Les déchets radioactifs sont gérés par les entreprises existantes et futures en vertu de la Loi sur le régime d'autorisations du 17 avril 1995 et du décret gouvernemental N°100 relatif aux activités d'autorisation liées à l'utilisation de l'énergie atomique du 12 février 1998. L'autorité compétente en matière d'autorisation est le Comité pour l'énergie atomique du Kazakhstan. Des fonctions de surveillance sont assumées par le Ministère de la santé, le Ministère des ressources naturelles, ainsi que l'Agence des situations d'urgence.

### **Données rétrospectives sur les activités nationales en matière de réaménagement**

Au Kazakhstan, des études et inspections méthodiques des déchets d'extraction et de traitement ont commencé dans les années 90. Les premières études ont été exécutées par l'entreprise de recherches géologiques « *Volkovgeologia* » dans le cadre de projets approuvés par le Ministère de l'écologie. Elles avaient pour objectif de déterminer le volume et l'état des décharges de stériles. De tels travaux ont été exécutés dans le sud du Kazakhstan sur le site de trois gisements (Oulken-Akjal, Kourdaï, Panfilovskoe). L'entreprise de recherches géologiques « *Stepgeologia* » a commencé à mener des travaux du même ordre dans le nord du pays (gisement Kosatchinoe et autres), mais ceux-ci ont dû bientôt s'arrêter à cause de difficultés budgétaires.

De 1996 à 1998, des recherches ont été effectuées au Kazakhstan dans le cadre du Programme d'assistance technique aux nouveaux États indépendants (TACIS) de l'Union européenne sur l'évaluation des mesures urgentes à prendre pour le réaménagement des mines et installations de traitement d'uranium dans la Communauté des États indépendants (Projet régional N°G42/93 et Projet N°NUCREG 9308). Ces recherches comportaient quatre phases : (1) l'identification des sites ; (2) un programme de surveillance radiologique de sites choisis et des mesures ; (3) l'établissement de modèles géochimiques et hydrogéologiques ; et (4) l'évaluation et la hiérarchisation des solutions possibles en matière de réaménagement.

En ce qui concerne l'état d'avancement et les résultats des projets entrepris dans ce cadre, seules la première et la deuxième phase ont été exécutées au Kazakhstan. À la suite de la première phase, on a recensé 100 sites de stockage de déchets radioactifs provenant de mines et d'installations de traitement. Ces sites se trouvent dans différents secteurs d'une vaste région du pays et se distinguent par diverses caractéristiques. Trois critères ont été utilisés pour déterminer le niveau de danger

inhérent à ces sites : la proximité d'une zone habitée, le climat (pluviométrie) et la granulométrie des déchets. Il s'avère que 78% des sites se trouvent à plus de 3 km des zones habitées, que 80% d'entre eux sont situés dans une zone où les précipitations sont inférieures à 300 mm/a et que la granulométrie de 70% en volume des déchets radioactifs ne dépasse pas 1 mm. Ce dernier facteur est celui qui constitue le risque le plus important.

D'après ces critères et quelques autres conditions, six sites ont été choisis pour y poursuivre des recherches au cours de la deuxième phase du projet, qui comportait des travaux de mesure, d'échantillonnage et d'analyse. Les sites ont été choisis en tenant compte de la gamme complète de situations. Deux sites comportaient des déchets de prospection (Kyzyl et Kosatchinoe), deux autres étaient des sites miniers (Kourdaï et Botabouroum) et dans les deux derniers se trouvaient des amoncellements de résidus (Combinats de la Caspienne et d'Oulba). Parmi ces sites, Kyzyl, Botabouroum et le Combinat de la Caspienne sont situés dans une région où les précipitations sont inférieures à 300 mm/a, alors que dans les régions où se trouvent Kosatchinoe, Kourdaï et le Combinat d'Oulba, les précipitations annuelles sont supérieures à 300 mm.

Selon le plan détaillé de la deuxième phase du projet, les activités suivantes ont été exécutées sur chaque site : levé radiométrique (s'il n'avait pas été effectué auparavant), échantillonnage lithochimique, prélèvement d'échantillons d'eau, de végétaux et d'aérosols, ainsi que mesures du radon.

Les types d'échantillonnages sont déterminés sur la base de l'objectif qui est d'évaluer les doses à la population. Dans ce cas, on procède à un échantillonnage lithochimique et à des mesures radiométriques pour déterminer principalement la dose d'irradiation externe. Les données d'échantillonnage de l'eau et de l'air permettent d'évaluer la dose d'irradiation interne imputable à la consommation d'eau et d'aliments. Sur la base des résultats des analyses des données relatives à chaque site, on détermine les directions du courant de diffusion et l'on planifie les points d'échantillonnage. Le volume d'échantillonnage utilisé est choisi de manière à pouvoir déterminer la zone de contamination par les radionucléides, ainsi que le courant de diffusion des radionucléides et les caractéristiques de la zone d'origine des matières radioactives provenant des décharges de déchets. En outre, des échantillons ont été prélevés pour déterminer le fond naturel de rayonnement.

L'échantillonnage lithochimique est exécuté par la méthode dite de « l'enveloppe » (1 m x 1 m). En chaque point, on effectue des prélèvements destinés à un dosage commun et portant sur de faibles fractions (jusqu'à 0,2 mm). Des échantillons sont prélevés dans les sources d'eau situées au-dessus et en dessous du niveau hypsométrique des sites de déchets. Les échantillons de végétaux sont prélevés aux mêmes emplacements que les échantillons lithochimiques. Seule la partie supérieure des plantes (se trouvant à plus de 3-5 cm au-dessus de la surface du sol) est utilisée à des fins d'analyse. Des échantillons d'aérosols sont prélevés à des fins de dosage sur des écrans adhésifs de 0,5 m x 0,5 m, qui sont laissés en place pendant 48 h, puis brûlés. Les cendres sont analysées et, compte tenu de la durée d'exposition et de la surface de l'écran adhésif, on détermine l'intensité des retombées radioactives (exprimée en Ci/m<sup>2</sup> par jour). Ces écrans adhésifs destinés à piéger les poussières radioactives sont orientés en fonction de la direction du vent pendant la durée des mesures. Les mesures radiométriques sont exécutées à l'aide d'un radiomètre SRP-68-01. Les concentrations de radon sont mesurées près de la surface du sol à l'aide d'un émanomètre de type « Ramon-01 ».

Tous les échantillons lithochimiques prélevés sur les sites de recherche sont analysés en vue de déterminer l'activité alpha totale. Le même procédé est appliqué aux échantillons de végétaux et d'aérosols après réduction en cendres. La teneur en radionucléides est établie pour des échantillons normaux. Dans le cas des échantillons d'eau, on détermine la teneur en <sup>238</sup>U et en <sup>226</sup>Ra ainsi que la composition chimique complète.



L'évaluation de l'incidence des déchets radioactifs avec application de critères de risque permet de tirer les conclusions suivantes. Le prélèvement d'échantillons de terre et de végétaux montre que la concentration de radionucléides dans le cas des zones contaminées par les matières présentes dans les décharges dépasse les concentrations maximales admissibles. Des dépassements des niveaux de radioactivité ont été relevés dans le cas du gisement de Kosatchinoe (44 500 Bq/kg dans la terre et 1 200 Bq/kg dans les végétaux), sur les sites où la remise en végétation n'est pas achevée ou n'a pas été exécutée correctement. Une contamination et une activité gamma dépassant les valeurs maximales admissibles sur tous les autres sites, n'ont été décelées que dans les décharges de déchets ou dans leur voisinage immédiat.

L'étude des irradiations dues aux poussières montre que le problème n'existe que dans le cas du gisement de Kosatchinoe, s'agissant de zones dans lesquelles les déchets radioactifs sont à grains fins. On y a détecté une augmentation des retombées radioactives pouvant atteindre 1,08 Bq/m<sup>2</sup>/j. Ce chiffre peut être considéré comme assez proche du niveau de contamination admissible. Aucune augmentation importante de l'irradiation liée aux poussières n'a été observée sur les autres sites.

L'analyse des échantillons d'eau prélevés dans les sources d'eaux de surface et dans les puits montre une augmentation de la contamination sur les sites du lac de Kachkarata (site d'évacuation des effluents radioactifs liquides du Combinat de la Caspienne), des gisements de Kourdaï, Botabouroum et Kosatchinoe et, en particulier, du Combinat d'Oulba. Une augmentation des concentrations de radionucléides pouvant atteindre 2,2 Bq/l sur le site du gisement de Kourdaï peut s'expliquer directement par la migration des radionucléides à partir des matériaux des décharges vers la rivière. Dans les échantillons provenant de la région du lac de Kachkarata (petit réservoir isolé) et des gisements de Botabouroum et de Kosatchinoe, l'augmentation de la contamination par les radionucléides peut s'expliquer respectivement par une contamination d'origine humaine et des phénomènes d'intense évaporation. Dans de telles conditions, l'eau de la rivière intermittente Iman-Bourlouk (Kosatchinoe) a des concentrations de radionucléides qui dépassent légèrement les limites maximales admissibles de 7,8 Bq/l. La situation est de toute évidence imputable aux décharges adjacentes. Cette eau ne doit pas être utilisée. La contamination de l'eau des rivières est aggravée par les phénomènes d'intense évaporation qui se produisent dans cette région très aride.

La contamination la plus grave a été observée sur le site du Combinat d'Oulba, qui ne produit pas d'uranium. Il convient de noter, toutefois, que les concentrations de radionucléides dans les eaux souterraines dépassent les limites maximales admissibles (jusqu'à 17,9 Bq/l), telles qu'elles sont définies dans le programme de prélèvement d'échantillons dans des puits dans la zone des sites en exploitation et des décharges de déchets du Combinat d'Oulba. Cet aquifère contaminé sert à l'approvisionnement en eau d'Oust-Kamenogorsk.

Les résultats des recherches exécutée au titre de la deuxième phase ont montré que, même si la concentration des radionucléides avait augmenté dans les végétaux sur certains sites, notamment dans les zones des verses de minerai (gisement Kosatchinoe) et les sources d'eau (gisements de Kourdaï et de Kosatchinoe) situées à proximité des sites de déchets, la plupart des déchets radioactifs découlant des activités de prospection et d'exploitation minière ne pouvaient pas, d'une façon générale, être considérés comme dangereux pour l'environnement du Kazakhstan. Dans le même temps, les déchets radioactifs peuvent présenter un danger potentiel pour la population locale qui utilise ces déchets comme matériaux de construction pour leurs habitations ou à d'autres fins. Des mesures de protection doivent donc être mises en œuvre pour empêcher toute utilisation non contrôlée des déchets radioactifs ou bien les sites d'évacuation des déchets doivent être remis en végétation.

La situation est plus compliquée dans les zones où se trouvent des résidus de traitement et d'autres déchets de procédé : bassins de décantation abandonnés du Combinat de la Caspienne, dans l'ouest du Kazakhstan (lac de Kachkarata), résidus du Combinat de Tselinny toujours en exploitation

dans le nord du pays, ainsi que bassins de décantation tant en exploitation que fermés du Combinat d'Oulba, dans l'est du pays. Le lac de Kachkarata repose sur une couche argileuse, aussi est-il peu probable que des fuites d'eau contaminée se produisent à partir de ce réservoir servant de bassin de décantation. Le lac de Kachkarata est situé à 6 km de la ville d'Aktaou. Le Combinat de la Caspienne est actuellement fermé, peut-être définitivement, de sorte que se pose le problème d'un secteur de 10 km<sup>2</sup> susceptible de se transformer en zone génératrice de poussières à cause du fort ensoleillement et des vents violents dans la région. Les mêmes problèmes pourraient se poser au Combinat de Tselinny, s'il venait à fermer, pour diverses raisons, notamment économiques.

Une attention particulière devrait être accordée au Combinat d'Oulba. Il s'agit d'une entreprise saine qui poursuit un programme industriel à long terme. Son principal problème tient à ce qu'elle est implantée pratiquement aux portes de la ville d'Oust-Kamenogorsk. Au Combinat d'Oulba, on a décelé une fuite de radionucléides dans l'aquifère qui constitue l'une des sources d'approvisionnement en eau de la ville. C'est pourquoi, parallèlement aux procédures de réaménagement des surfaces de l'ancien dépôt de déchets fermé, il est nécessaire de procéder à des études de la contamination de l'aquifère à l'aide de nouveaux puits de surveillance hydrogéologique et de prélèvements d'échantillons d'eau.

### **Installations faisant l'objet de plans de réaménagement en cours ou prévus**

À l'heure actuelle, au Kazakhstan, aucune activité de réaménagement n'est en cours ni prévue à cause des difficultés financières. Toutefois, comme cela est indiqué plus haut, certains sites sont assez dangereux. La situation des trois zones d'évacuation des résidus présente le plus de risque. Si, par exemple, en liaison avec la fermeture des Combinats de la Caspienne et de Tselinny, le pompage d'eau dans les bassins de décantation cesse, il se formera une « zone sèche génératrice de poussières » de 17 km<sup>2</sup>.

Le programme du Combinat d'Oulba comprend quelques activités visant à atténuer les incidences sur l'environnement des déchets issus de la production de pastilles d'uranium. Toutefois, il subsiste le risque que présentent les déchets existants non contrôlés.

On trouvera dans le tableau ci-après des données relatives aux 22 sites qui renferment chacun plus de 10 000 t de déchets radioactifs. Les 78 autres sites comportent de 0,1 à 10 000 t de déchets. Toutefois, plus de 98 % du volume total des déchets se trouvent dans le premier groupe de 22 sites.

**Tableau 1. Répartition et description des décharges de stériles et des bassins de décantation de résidus au Kazakhstan**

N°	Nom du gisement ou du combinat	Région (oblast)	État des installations de production	Type de déchets	Volume, (1 × 10 <sup>3</sup> t) / superficie (ha)	Zone habitée la plus proche (km)
1.	Combinat d'Oulba*	Kazakhstan oriental	En exploitation	Résidus	420/11	0,5
2.	Combinat de la Caspienne	Mangistaou	Sous cocon	Résidus	120 000/1 000	6
3.	Combinat de Tselinny	Akmola	Sous cocon	Résidus	88 330/722	5
4.	Gisement de Botabouroum	Djamboul	Épuisé	Décharges	3 681/28	1,5
5.	Gisement de Kourdaï	Djamboul	Épuisé	Décharges	6 280/35	3
6.	Gisements des Secteurs 2 et 4	Djamboul	Épuisés	Décharges	2 130	6

**Tableau 1. Répartition et description des décharges de stériles  
et des bassins de décantation de résidus au Kazakhstan (suite)**

N°	Nom du gisement ou du combinat	Région (oblast)	État des installations de production	Type de déchets	Volume, (1 × 10 <sup>3</sup> t) / superficie (ha)	Zone habitée la plus proche (km)
7.	Gisements des Secteurs 7 et 11	Djamboul	Épuisés	Décharges	396/24	20
8.	Gisement de Tchaïka	Akmola	Épuisé	Décharges	1 772/4.8	12
9.	Gisement de Balkhachinskoe	Akmola	En réserve	Décharges	576/9.3	5
10.	Gisement de Chokpaskoe	Akmola	En réserve	Décharges	866/5.6	3
11.	Gisement d'Ichimskoe	Akmola	Épuisé	Décharges	568/12.8	6
12.	Gisement de Manybaï	Akmola	Épuisé	Décharges Résidus de lixiviation en tas	4 860/30 1 480/46	0,5
13.	Gisement d'Oulken-Akjal	Kazakhstan oriental	Indéterminé	Décharges	19	27
14.	Gisement de Panfilovskoe	Almaty	Indéterminé	Décharges	13.5/10	0,1
15.	Gisement de Kosatchinoe	Kokchetaou	En réserve, réaménagement partiel	Décharges	290/2,5	1,5
16.	Gisement de Gloubinnoe	Kokchetaou	Épuisé	Décharges	123/2,7	0,5
17.	Gisement de Zaozyornoe	Kokchetaou	Épuisé	Décharges	568/4,6	6
18.	Gisement de Chatskoe	Kokchetaou	Épuisé	Décharges	430/8	2
19.	Gisement de Tastykol	Kokchetaou	Épuisé	Décharges	632/8	6
20.	Gisement de Gratchyovskoe	Kokchetaou	En réserve	Décharges	448/2,1	2
21.	Gisement d'Agachskoe	Kokchetaou	En réserve	Décharges	131/2,2	2
22.	Gisement de Viktorovskoe	Kokchetaou	En réserve	Décharges	100/1	2

\* Cette installation produit des pastilles de combustible nucléaire.

## • Ouzbékistan •

### Politiques et réglementation des pouvoirs publics

En sa qualité d'État Membre de l'AIEA, l'Ouzbékistan a suivi les recommandations de cette Agence et élaboré un « Plan de développement de l'infrastructure de radioprotection en Ouzbékistan ». Les principes admis dans les pays développés ont servi de base à ce plan. La Loi sur la sûreté radiologique en Ouzbékistan du 31 août 2000 s'inspire des mêmes notions. Cette Loi confère la responsabilité d'assurer la protection radiologique au conseil des ministres, à l'agence pour la sûreté

dans l'industrie et les mines, au ministère de la santé, au comité d'état pour la protection de la nature et au comité d'état des douanes.

## **Historique des activités de réaménagement des installations de production d'uranium**

On peut diviser le territoire de l'Ouzbékistan en trois zones géotectoniques :

- La zone orientale et sud-orientale au relief montagneux.
- La zone centrale (Kyzylkoum central), qui était une plate-forme active à l'époque du Néogène-Quaternaire.
- La zone nord-orientale (plateau d'Oust-Ourt), qui est un plateau typique.

Tous les gisements d'uranium de l'Ouzbékistan (au nombre de 50 environ) se trouvent tous dans la première et la deuxième de ces zones.

Les gîtes uranifères de l'Ouzbékistan peuvent être classés en trois principales catégories : hydrothermaux, hydrogéniques et polygéniques.

1. Les gisements hydrothermaux sont liés à des roches intrusives et volcaniques qui se sont développées dans la région de Tachkent et le bassin du Fergana. Ils ont été exploités à partir du début des années 50 pendant 30 à 35 ans et sont entièrement épuisés. Le Complexe oriental de métaux rares (entreprise « *Vostokredmet* »), connu anciennement sous la dénomination de Complexe minier et chimique de Leninabad, avait son siège et son installation de traitement à Tchkalovsk, au Tadjikistan. Toutes les activités de l'entreprise « *Vostokredmet* » liées à l'exploitation de ces gisements uranifères ont cessé. Les décharges de déchets, les tas de minerai à faible teneur et les autres déchets présentant une radioactivité importante, se sont amoncelés sur les sites épuisés. Tous ces sites de déchets radioactifs contaminent la région et sont dangereux pour la population.
2. Les gisements hydrogéniques d'uranium se rencontrent dans le Kyzylkoum central, dans des formations sablo-argileuses datant du Crétacé et du Paléogène. Ces gisements ont été exploités depuis le début des années 60, d'abord par des techniques d'exploitation minière en souterrain et à ciel ouvert. Ultérieurement, on a eu recours à des techniques de lixiviation en souterrain, plus sûres du point de vue de l'environnement. Ce type de technologie de production est toujours en usage. Le Combinat minier et métallurgique de Navoi (CMMN) est responsable de ces opérations minières. Certains de ces gisements sont épuisés ou ont été mis sous surveillance.
3. Les gisements polygéniques d'uranium sont liés à une formation de schistes ardoisiers charbonneux à chailles qui s'est développée dans le Kyzylkoum central. Les gisements de ce type n'ont jamais été exploités. Après prospection, ils ont été mis sous cocon.

## **Installations faisant l'objet d'activités de réaménagement en cours ou prévues**

Le bassin de décantation des résidus de l'usine hydrométallurgique N°1 du CMMN présente le plus de danger pour l'environnement à cause de sa taille et de sa localisation dans la vallée de la rivière Zarafchan. Il s'agit d'une région à forte densité de population. La quantité totale de radionucléides accumulés représente une activité de  $160 \times 10^3$  Ci contenue dans les 60 millions de tonnes de résidus présents sur ce site.

Un ensemble de mesures est actuellement mis en œuvre dans les bassins de décantation des résidus en vue d'améliorer l'état de l'environnement :

- Un série de 24 trous de sondage disposés en « rideau » donnent lieu à un pompage en vue de récupérer les eaux d'infiltration provenant des bassins de décantation et de renvoyer les solutions vers l'usine hydrométallurgique.
- 108 trous de sondage d'observation ont été forés dans la zone du bassin de décantation pour surveiller les eaux souterraines.

Les travaux de réaménagement se situent à divers stades d'avancement sur les autres sites administrés par le CMMN :

- Dans la Division minière du Nord, le volume de sol contaminé a été déterminé et un projet en vue de son enfouissement a été élaboré.
- Dans la Division minière du Centre, un site d'évacuation des déchets radioactifs a été préparé et on y enfouit actuellement les déchets.
- Dans la Division minière N°5, un programme est en cours d'élaboration visant un site d'évacuation.
- Sur les sites de Gounjak et de Kar'er, les déchets sont en cours d'enfouissement.
- Dans la Division minière N°2, à la suite d'une étude portant sur un tas de minerai à faible teneur, on a conclu qu'aucun transfert n'était nécessaire.

Le gisement de Yangiabad est considéré comme zone prioritaire parmi les mines épuisées de l'entreprise « *Vostokredmet* ». Un projet de décontamination radioactive et de réaménagement a été élaboré pour cette zone (30 km<sup>2</sup>) sur la base d'une étude exécutée par l'entreprise « *Kyzyltepageologiya* ». Le projet consiste principalement à retirer un volume total de quelque 500 m<sup>3</sup> de sol contaminé et à l'enfouir dans la zone actuellement occupée par le tas de minerai à faible teneur. Le projet n'assurait pas auparavant de protection à la population locale (environ 1 500 personnes) contre la concentration accrue de radon. Le gouvernement de l'Ouzbékistan a pris la décision de consacrer chaque année 250 000 USD au réaménagement de la zone, lequel a déjà commencé.

La seconde zone de l'entreprise « *Vostokredmet* » comprend les gisements épuisés de Tcharkesar-I, de Tcharkesar-II et les agglomérations environnantes. L'examen de la zone est terminé et un projet de décontamination radioactive et de réaménagement est en cours d'élaboration.

Il existe aussi des déchets radioactifs sur d'autres sites se trouvant le long des frontières des territoires limitrophes du Tadjikistan et du Kirghizistan. Ces déchets pourraient avoir un effet néfaste sur le territoire de l'Ouzbékistan s'ils étaient libérés à partir de ces sites. Ces sites comprennent les bassins de décantation des résidus de Degmaï et de Gafourov situés respectivement le long du fleuve Syr-Daria, près de l'usine de l'entreprise « *Vostokredmet* » à Tchkalovski et au voisinage de l'agglomération de Mayli-say, au Kirghizistan, où d'importantes quantités de déchets radioactifs sont conservées dans des bassins de décantation des résidus et des tas de minerai à faible teneur.

Une participation plus active des organisations internationales serait souhaitable pour mettre au point des mesures de protection de l'environnement pour ces sites. Il conviendrait tout d'abord d'effectuer des recherches préliminaires sur le terrain à l'aide d'instruments modernes très sensibles.

## Coûts

Dans le passé, l'entreprise « *Vostokredmet* » et le CMMN, filiales de deux combinats, ont exploité des mines d'uranium en Ouzbékistan.

Toutes les activités d'exploitation minière de l'uranium de l'entreprise « *Vostokredmet* » ont maintenant cessé. Les principaux gisements exploités par cette entreprise en Ouzbékistan sont les suivants : Alatanga, Kattasaï, Djekindek et autres (sièges d'extraction N°1 et 2) ; Tcharkesar-I, Tcharkesar-II (siège d'extraction N°23 ; et d'autres concessions. Plusieurs zones contaminées ont été abandonnées sur ces concessions pour diverses raisons ; elles comprennent des tas de minerai à faible teneur au voisinage des mines et des installations de traitement, des moyens de transport du minerai, etc. Des organisations nationales ouzbekes décontaminent ces sites. C'est le Gouvernement de l'Ouzbékistan qui finance ces travaux. Le réaménagement des sièges d'extraction N°1 et 2 a commencé. Le coût annuel de ces travaux s'élève à 250 000 USD. Quant au siège d'extraction N°23, on a élaboré un plan et un budget de réaménagement estimé à 7 millions d'USD. Le gouvernement devrait débloquer les fonds requis pour ces travaux.

Le CMMN exploite maintenant les gisements uranifères renfermés dans des grès dans la zone du Kyzylkoum central. Parmi de ces gisements, qui ont d'abord été exploités par des techniques minières classiques, figurent ceux d'Outchkoudouk (Division minière du Nord), de Sougraly (Division minière du Centre), de Ketmentchi et de Sabirsaï (Division minière du Sud). Ces activités ont généré des tas de stériles à faible teneur. Certaines zones de ces concessions ont besoin d'être réaménagées. La technologie par lixiviation *in situ* (LIS) est maintenant utilisée sur ces sites. Des déversements accidentels de la solution lixiviante ont aussi contaminé certains sites qu'il est donc nécessaire de décontaminer et de réaménager.

Diverses organismes du CMMN s'occupent des travaux de décontamination radioactive et de réaménagement menés sur les sites de ses mines épuisées. Le CMMN consacre chaque année de 3,5 à 5 % de ses dépenses d'exploitation à des activités liées à la protection de l'environnement, y compris environ 6 millions d'USD pour la construction d'équipements liés à la protection de l'environnement.

On trouvera dans le tableau suivant les caractéristiques des zones présentant une contamination radioactive dans les exploitations minières d'uranium épuisées de l'Ouzbékistan.

Tableau 1. Installations minières et de concentration d'uranium d'Ouzbékistan contaminées

Nom de la concession	Concessions du CMMN						Organisation finançant les activités de réaménagement	Concessions de l'entreprise <i>Yostokredmet</i>			Organisation finançant les activités de réaménagement
	Technique d'extraction minière			Bassin de décontamination des résidus				Nom de la concession	Technique d'extraction minière	Exploitation minière	
	Exploitation minière		Lixiviation en souterrain	Zone contaminée des résidus		Volume de roches contaminées					
	Zone contaminée (1 000 m <sup>2</sup> )	Volume de roches contaminées (1 000 m <sup>3</sup> )	Zone contaminée (1 000 m <sup>2</sup> )	Volume de roches contaminées (1 000 m <sup>3</sup> )	Zone contaminée (1 000 m <sup>2</sup> )	Volume de roches contaminées (1 000 m <sup>3</sup> )					
Div. min. du Nord : Gisement de Outchkoudouk	347,2	1 448,0	1 784,0	569,0	-	-	S. d'ex. N°1 et 2 : Alatang, Kattasai et Djekindek	195	500	500	Gouvernement de l'Ouzbékistan
Div. min. du Centre : Gisement de Sougraly	1 060,2	956,6	61,0	13,4	-	-	S. d'ex. N°23, gisements de Tcharkesar-I et Tcharkesar-II	162	470	470	Gouvernement de l'Ouzbékistan
Div. min. du Sud : Gisements de Sabirsai et Ketmentchi	500	253,4	1 300	377,8	-	-	-	-	-	-	Gouvernement de l'Ouzbékistan
Div. min. N°5 : Bechkak, et Boukimaï Nord et Sud	-	-	1 740,0	1 923,0	-	-	-	-	-	-	Gouvernement de l'Ouzbékistan
Div. min. N°2 : Gisement de Tchauli	200	770	-	-	-	-	-	-	-	-	Gouvernement de l'Ouzbékistan
Usine hydro-métallurgique N°1, bassin de décontamination des résidus	-	-	-	-	6 000,0	30 000	-	-	-	-	Gouvernement de l'Ouzbékistan
<b>Total</b>	<b>2 107,4</b>	<b>3 358,0</b>	<b>4 885,0</b>	<b>2 882,4</b>	<b>6 000,0</b>	<b>30 000</b>	<b>Total</b>	<b>357</b>	<b>970</b>	<b>970</b>	<b>-</b>

Note: S. d'ex. = Siège d'extraction

# • Portugal •

## Politiques et réglementation des pouvoirs publics

La production d'uranium au Portugal est régie par la législation minière nationale, à savoir le Décret-Loi N°90/90 et le Décret-Loi N°88/90 du 16 mars 1990. Ces textes déterminent les conditions applicables à la prospection et à l'exploitation des gisements minéraux. Les minerais d'uranium au Portugal sont la propriété de l'État.

D'autres dispositions législatives précisent les conditions de réaménagement de l'environnement, à savoir :

- Le Décret-Loi N°186/90 du 6 juin 1990 modifié par le Décret-Loi N°287/93 du 20 août 1993 et le Décret-Loi N°38/90 du 27 novembre 1990 modifié par le Décret-Loi N°42/97 du 10 octobre 1997 stipulant que l'autorisation d'exploitations minières et de concentration d'uranium est sujette à une évaluation préalable d'impact sur l'environnement.
- Le Décret-Loi N°162/70 et le Décret-Loi N°345/96. Santé et sécurité sur les chantiers miniers.
- Le Décret-Loi N°348/89 du 12 octobre 1989 rendu effectif par le Décret-Loi N°9/90 du 16 avril 1990 et le Décret-Loi N°3/92 du 6 mars 1992, le Décret-Loi N°34/92 du 4 décembre 1992 et le Décret-Loi N°311/98 du 14 octobre 1998 établit la Commission pour la protection radiologique et la sûreté nucléaire [*Comissão para a Protecção e Segurança Nuclear*] en tant qu'organisme de conseil auprès du Département de la Santé et met en place le cadre institutionnel de la protection radiologique – la protection radiologique relative aux activités minières de l'uranium est basée sur le Décret 34/92.

Une solution de remplacement à l'actuel cadre juridique prévu pour l'établissement des Études d'impact sur l'environnement (conforme à la Directive 87/11/CE) sera rendue publique dans un proche avenir, de même qu'une législation sur les décharges de résidus dans l'industrie minière.

La fermeture et le réaménagement des mines d'uranium sont régis par le Décret-Loi N°90/90 qui stipule que tout projet de réaménagement de sites miniers doit être approuvé par les autorités compétentes.

L'Entreprise nationale de l'uranium [*Empresa Nacional de Uranio S.A. – ENU*] est la seule entreprise publique à responsabilité limitée qui possède des droits miniers en vue de l'exploitation de l'uranium au Portugal. Cette entreprise a récemment dressé un inventaire des sites abandonnés de mines d'uranium et défini un plan de surveillance qui est en cours d'évaluation par l'Institut géologique et minier [*Instituto Geologico e Mineiro – IGM*] et le Ministère de l'environnement.

## Activités de réaménagement

Les activités de réaménagement de l'environnement et de restauration des sites miniers visant les mines d'uranium et de radium ont démarré de façon continue en 1990. Avant 1990, l'ENU a commencé par une surveillance de la qualité de l'eau et de la qualité de l'air, en coopération avec des



organisations gouvernementales. Depuis 1993, davantage de mesures correctives sont en cours après l'achèvement d'une Évaluation du point de vue de l'environnement ayant trait aux anciennes mines d'uranium et de radium. En outre, le Programme stratégique de l'ENU en matière d'environnement a été exécuté. En 1997, l'ENU a lancé plusieurs études de réaménagement de l'environnement.

### **Activités de réaménagement en cours et futures**

Après avoir défini son programme stratégique en matière de réaménagement, l'ENU a entrepris des études relatives aux mines présentant un risque élevé pour l'environnement et des procédures de stabilisation ont été engagées sur le site de certaines de ces mines.

Les mines d'uranium portugaises sont classées en deux groupes : le Groupe A, qui comprend les centres de production en exploitation ou les mines récemment fermées, et le Groupe B qui comprend des mines présentant des risques plus élevés pour l'environnement, c'est-à-dire toutes les autres mines plus anciennes.

#### ***Groupe A***

##### *Urgeiriça – mine souterraine et usine de traitement*

La mine a été mise en exploitation en 1913 et a été fermée en 1991. L'usine de traitement a démarré en 1951 et est encore en service. La production totale à la fin de 1998 s'établissait à 3 693 t d'U contenu dans le concentré. L'usine d'Urgeiriça utilise le procédé par échange d'ions, extraction par solvant et lixiviation par voie acide (EI/ES/LA). Un programme en vue de limiter le plus possible les incidences sur l'environnement est à l'étude. Les caractéristiques du site et les informations relatives aux procédures et plans dans le domaine de l'environnement sont les suivantes :

- Contamination éventuelle des eaux de surface imputable à la présence de bassins de décantation des résidus et de tas de déchets, pertes sous forme de poussières, émanation de radon gazeux et activité gamma.
- Surveillance continue de la station de traitement des effluents, surveillance périodique de l'eau souterraine et de la qualité de l'air autour de l'ensemble de la zone industrielle.
- Un tas de déchets représentant un volume proche de 150 000 m<sup>3</sup>.
- Deux bassins de décantation des résidus, couvrant une superficie de 100 000 m<sup>2</sup> et représentant un volume proche de 2 500 000 m<sup>3</sup>.
- Coût estimé du projet de réaménagement de l'environnement s'élevant à 2 220 000 USD.

##### *Bica – mine souterraine*

La mine a été mise en exploitation en 1951 et a été fermée en 1998. Le lessivage d'anciennes chambres d'abattage est en cours de même que la stabilisation du point de vue de l'environnement. Les caractéristiques du site et les informations relatives aux procédures et plans dans le domaine de l'environnement sont les suivantes :

- Contamination éventuelle des eaux de surface et de l'eau souterraine imputable aux résidus acides se trouvant sur le site minier et à la lixiviation naturelle du tas de déchets, pertes sous forme de poussières, émanation de radon gazeux et activité gamma.

- Surveillance continue de la station de traitement des effluents, surveillance périodique de l'eau souterraine et de la qualité de l'air autour de la zone de la concession minière.
- Tas de déchets de 300 000 tonnes.
- Pas de bassin de décantation des résidus.
- Des études relatives aux mesures correctives sont en cours. Coût estimé à 1 257 000 USD.

#### *Quinta do Bispo – mine à ciel ouvert*

La mine a été mise en exploitation en 1979 et a été fermée en 1987. La lixiviation en tas des minerais à faible teneur s'est poursuivie depuis 1992 et fait encore l'objet d'une production. Les caractéristiques du site et les informations relatives aux procédures et plans dans le domaine de l'environnement sont les suivantes :

- Contamination éventuelle des eaux de surface et de l'eau souterraine imputable aux résidus acides se trouvant sur le site minier et à la lixiviation naturelle du tas de déchets, pertes sous forme de poussières, émanation de radon gazeux et activité gamma.
- Surveillance continue de la station de traitement des effluents, surveillance périodique de l'eau souterraine et de la qualité de l'air autour de la zone de la concession minière.
- Tas de déchets de 1 500 000 tonnes.
- Pas de bassin de décantation des résidus.

#### *Vale da Abrutiga – mine à ciel ouvert*

La mine a été mise en exploitation en 1982 et a été fermée en 1989. le projet de réaménagement du site minier est en cours. Les caractéristiques du site et les informations relatives aux procédures et plans dans le domaine de l'environnement sont les suivantes :

- Fosse renfermant près de 100 000 m<sup>3</sup> d'eau contaminée (présence d'acide et teneur notable en uranium et radium) ; contamination éventuelle des eaux de surface, de l'eau souterraine et du réservoir du Barrage d'Agueira imputable au risque de débordement d'eau de la mine à ciel ouvert et à la lixiviation naturelle du tas de minerai à faible teneur ; pertes sous forme de poussières, émanation de radon gazeux et activité gamma.
- Surveillance périodique de l'eau de la mine à ciel ouvert, de l'eau souterraine et de la qualité de l'air tout autour de la zone de la concession minière.
- Tas de déchets de 1 000 000 tonnes. Un tas de minerai à faible teneur représentant environ 400 000 tonnes. La superficie de la concession est d'environ 80 000 m<sup>2</sup>.
- Pas de bassin de décantation des résidus.
- Coût estimé du programme de réaménagement / restauration s'élevant à 278 000 USD.

#### *Cunha Baixa – mine souterraine et multiples mines à ciel ouvert (avec lixiviation en tas et en place)*

La mine a été mise en exploitation en 1970 et a été fermée en 1993. Les travaux de réaménagement ont démarré en 1990. La stabilisation de l'environnement et des études en vue du

réaménagement du site minier sont en cours. Les caractéristiques du site et les informations relatives aux procédures et plans dans le domaine de l'environnement sont les suivantes :

- Contamination éventuelle des eaux de surface et de l'eau souterraine imputable aux résidus acides se trouvant sur le site minier et au minerai lixivié se trouvant dans la fosse principale ; pertes sous forme de poussières, émanation de radon gazeux et activité gamma.
- Surveillance continue de la station de traitement des effluents, surveillance périodique de l'eau souterraine et de la qualité de l'air autour de la zone de la concession minière.
- Deux décharges de déchets représentant 1 100 000 tonnes.
- Pas de bassin de décantation des résidus.
- Coût estimé du réaménagement du site minier s'élevant à 1 616 000 USD.

### **Groupe B**

Ce groupe comprend toutes les autres mines exploitées par l'ENU, l'ex Autorité de l'énergie atomique [*Junta de Energia Nuclear – JEN*] et la CPR [*Companhia Portuguesa de Radium*]. Ce groupe compte une cinquantaine d'anciennes mines.

Les incidences potentielles sur le plan environnemental, radiologique et/ou chimique sont les mêmes que pour les mines décrites dans le Groupe A, et sont fonction de la taille et du type de chaque mine.

Le projet relatif à un programme de réaménagement des mines proposé par l'ENU a été mené à terme pour six mines faisant partie du Groupe B. Il s'agit des mines suivantes : Barroco I, Ribeira di Boco, Canto do Lagar, Maria Dónis (district de Guarda) et Espinho et Corga deValbom (district de Viseu). Le coût estimé de mise en œuvre s'élève à 1 123 000 USD.

L'ENU a également achevé un programme d'orientation visant le réaménagement et les mesures correctives de l'environnement de certaines des anciennes mines, représentant un coût estimé d'application de 6 014 000 USD.

Dans les centres en exploitation, l'usine d'Urgeiriça et la mine de Quinta do Bispo, l'ENU prend en charge des coûts de gestion de l'environnement estimés à environ 160 000 à 214 000 USD par an, pour des activités telles que : la surveillance (17,5 %), la gestion des effluents (41 %), l'évacuation des déchets radioactifs (19,5 %), les activités réglementaires et l'évaluation environnementale (22 %).

L'actuel programme de gestion de l'environnement relatif aux anciennes mines représente un coût estimé de l'ordre de 107 000 à 134 000 USD par an, pour des activités telles que : la surveillance (23 %), la gestion des effluents (45 %), le déclassement et/ou la décontamination (21 %), l'évacuation des déchets radioactifs, les activités réglementaire et l'évaluation environnementale (11 %).

## • République tchèque •

### **Politiques et réglementation des pouvoirs publics**

#### *Politique des pouvoirs publics visant la production d'uranium*

Dans la République tchèque, la prospection, la production et le traitement des minerais d'uranium sont contrôlés par l'État. Étant donné les modifications intervenues dans les besoins des centrales nucléaires du pays, l'évolution négative au niveau des coûts de production de l'uranium et la tendance continue à la baisse des prix de l'uranium dans le monde entier, le gouvernement a décidé de procéder à un repli progressif de l'industrie de l'uranium. Un programme de repli à grande échelle a été élaboré, qui traite les aspects techniques, sociaux et environnementaux d'une telle contraction de la production, et il est entièrement couvert par l'État.

Le programme de repli a débuté à la fin des années 80 et la production a été adaptée aux besoins en uranium des réacteurs de la République tchèque. La réduction palier par palier de la production d'uranium permet surtout de traiter les incidences sociales dans les zones minières. Une partie de la production de concentrés d'uranium a été stockée dans les réserves de matières de l'État. Conformément à un arrangement passé entre la République tchèque et l'Union européenne, le gouvernement a décidé de protéger le marché intérieur de l'uranium jusqu'en 2001 afin d'achever la production à partir de gisements choisis. Jusqu'en 2001, des dispositions en matière d'autorisation interdisent toute importation de combustible nucléaire qui ne provient pas de l'uranium extrait dans le pays.

L'État s'étant fixé comme ligne d'action de s'attacher en permanence à améliorer l'environnement, il lui incombe de prendre en charge le financement des mesures correctives des effets de la prospection, de l'extraction minière et du traitement dans les anciennes exploitations également qualifiées de « historiques ».

### **Législation et réglementation en matière d'environnement applicables à l'exploitation minière, au déclassé et au réaménagement**

#### *Réglementation générale exécutoire*

##### *Lois*

- Loi N°17/1992 Sb.\* sur l'environnement.
- Loi du CNR [*Ceska Narodni Rada*] (Conseil national tchèque – l'une des chambres du Parlement) N°388/1991 Sb. sur le Fonds d'État pour l'environnement, modifiée par la Loi du CNR N°334/1992 Sb.

---

\* Sb. = Recueil des lois tchèques.

- Loi du CNR N°282/1991 Sb. sur le Service tchèque d'inspection de l'environnement et ses activités en matière de protection de la forêt.
- Loi du CNR N°244/1991 Sb. sur l'évaluation de l'impact sur l'environnement.
- Loi N°123/1998 Sb. sur les droits à l'information concernant l'environnement.
- Loi N°157/1998 Sb. sur les agents chimiques et les produits chimiques ainsi que sur la modification de certaines lois.

### *Réglementation*

- Règlement du MZP [*Ministerstvo Zivotniho Prostredi*] (Ministère de l'environnement) N°499/1992 Sb. sur la qualification des experts chargés de l'évaluation de l'impact sur l'environnement, ainsi que sur la procédure et le déroulement des audiences publiques relatives aux avis d'experts.

### *Protection de l'air*

#### *Lois*

- Loi N°309/1991 Sb. sur la protection de l'air contre les polluants (Loi sur l'air), modifiée par la Loi N°218/1992 Sb. et par la Loi N°158/1994 Sb., (texte intégral Loi N°211/1994 Sb.).
- Loi du CNR N°389/1991 Sb. sur l'administration publique de la protection de l'air et les redevances au titre de sa pollution (texte intégral dans la Loi N°212/1994 Sb.) modifiée par la Loi N°86/1995 Sb.
- Loi N°38/1995 Sb. sur les conditions techniques applicables à la circulation des véhicules routiers sur les voies de communication terrestres.
- Loi N°86/1995 Sb. sur la protection de la couche d'ozone de la Terre.

### *Réglementation*

- Règlement du MZP N°41/1992 Sb. portant définition de domaines de protection spéciale de l'air et fixant les principes d'instauration et de fonctionnement de systèmes de régulation et de certaines autres mesures de protection de l'air, modifié par le Règlement du MZP N°279/1993 Sb.
- Règlement du MZP N°117/1997 Sb. fixant les limites d'émission et d'autres conditions visant le fonctionnement des sources stationnaires de pollution, ainsi que la protection de l'air.

### *Ordonnance*

- Ordonnance du Comité fédéral de protection de l'environnement, en date du 1er Octobre 1991 en application de la Loi N°309 du 9 juillet 1991 sur la protection de l'air contre les polluants (Loi sur l'air), modifiée par l'Ordonnance du Comité fédéral de protection de l'environnement en date du 23 juin 1992 publiée en partie dans 84/1992 Sb.

modifié par le Règlement du MZP N°122/1995 Sb. et par le Règlement du MZP N°17/1997 Sb.

### ***Protection de l'eau (gestion de l'eau)***

#### *Lois*

- Loi N°138/1973 Sb. sur les eaux (Loi sur l'eau), modifiée par la Loi du CNR N°425/1990 Sb., la Loi N°114/1995 Sb., la Loi N°14/1998 Sb. et Loi N°58/1998 Sb.
- Loi de CNR N°130/1974 Sb. sur l'administration publique de la gestion de l'eau, modifiée par la Loi du CNR N° 49/1982 Sb., la Loi du CNR N°425/1990 Sb. et la Loi du CNR N°23/1992 Sb. (texte intégral dans la Loi du CNR N°458/1992 Sb.) modifiée par la Loi du CNR N°114/1995 Sb.
- Loi N°58/1998 Sb. sur les redevances applicables aux rejets d'eaux résiduaires dans les eaux de surface.

#### *Directives du Gouvernement*

- Directive du gouvernement de la République tchèque N°100/1998 Sb., sur la protection contre les inondations.
- Directive du Gouvernement de la République socialiste tchèque N°35/1979 Sb. sur les redevances de gestion de l'eau, modifiée par la Directive du Gouvernement de la République socialiste tchèque et slovaque N°91/1988 Sb. (texte intégral de la Directive du Gouvernement N°2/1989 Sb.) modifiée par la Loi du CNR N°281/1992 Sb. et la Loi N°58/1998 Sb.
- Directive du Gouvernement de la République socialiste tchèque N°85/1981 Sb. sur les zones protégées concernant les masses d'eau naturelles du bassin de Cheb et de la forêt de Slavkov, du Crétacé du nord de la Bohême, du Crétacé de l'est de la Bohême, du bassin de Police, du bassin de Trebon et de la zone quaternaire de la rivière Morava.
- Directive du Gouvernement de la République tchèque N°82/1999 Sb., fixant des indices et des valeurs du niveau admissible de pollution de l'eau.

#### *Réglementation*

- Règlement du MLVH [*Ministerstvo lesního a vodního hospodárství*] (Ministère de la foresterie et de la gestion de l'eau) de la République socialiste tchèque N°28/1975 Sb., qui définit les bassins hydrographiques alimentant des ouvrages hydrauliques et établit une liste des bassins importants à cet égard.
- Règlement du MLVH de la République socialiste tchèque N° 62/1975 Sb. sur les conseils d'experts en matière de sûreté technique visant certains ouvrages d'adduction d'eau et sur les conseils en matière de sûreté technique destinés aux comités nationaux (collectivités locales).
- Règlement du MLVH de la République socialiste tchèque N°63/1975 Sb. sur les obligations des organismes de rendre compte des découvertes d'eaux souterraines et de fournir des données sur leur utilisation.

- Règlement du MLVH de la République socialiste tchèque N°42/1976 Sb. sur les gestionnaires des approvisionnements en eau.
- Règlement du MLVH de la République socialiste tchèque N°126/1976 Sb. sur la gestion de l'eau et la comptabilisation intégrale de la gestion de l'eau.
- Règlement du MLVH de la République socialiste tchèque N°6/1977 Sb. sur la protection de la qualité des eaux de surface et des eaux souterraines.
- Règlement du MZP N°47/1999, qui prescrit l'application de la Loi N°58/1998 Sb. aux redevances visant les rejets d'eaux résiduaires dans les eaux de surface.
- Règlement du MLVH de la République socialiste tchèque N°19/1978 Sb. qui définit les devoirs des administrateurs d'ouvrages d'adduction d'eau et certaines tâches visant les cours d'eau.
- Règlement du MLVH de la République socialiste tchèque N°144/1978 Sb. sur les réseaux publics d'alimentation en eau et les réseaux publics d'égouts, modifié par le Règlement du MLVH DP de la République socialiste tchèque N°185/1988 Sb.

### ***Gestion des déchets***

#### *Loi*

- Loi N°125/1997 Sb. sur les déchets.

#### *Réglementation*

- Règlement du MZP N°337/1997 qui publie un catalogue des déchets et dresse d'autres listes de déchets (Catalogue des déchets).
- Règlement du MZP N°338/1997 sur des aspects détaillés de la gestion des déchets.
- Règlement du MZP N°339/1997 sur l'évaluation des caractéristiques dangereuses des déchets.
- Règlement du MZP N°340/1997 qui fixe les montants des réserves financières pour la remise en culture, la garantie de la prise en charge des décharges de résidus et le réaménagement après exploitation, ainsi que les aspects détaillés de leur mise en place et utilisation.
- Règlement du CBU [*Český báňský úřad*] (Bureau tchèque des mines) N°99/1992 Sb. sur l'établissement, l'exploitation, la garantie et le déclassement des établissements de dépôt de déchets dans le sous-sol.

### ***Protection de la nature et des terres***

#### *Loi*

- Loi du CNR N°114/1992 Sb. sur la protection de la nature et des terres, modifiée par le Décret-Loi du Présidium du CNR N°347/1992 Sb., la Loi N°289/1995 Sb., les Conclusion de la Cour constitutionnelle de la République tchèque N°3/1997 Sb., la Loi N°16/1997 Sb., la Loi N°123/1998 SB. et la Loi N°161/1999 Sb.

### *Réglementation*

- Règlement du MZP N°395/1992 Sb., modifié par le Règlement du MZP N°105/1997 Sb., qui prévoit l'application de certaines dispositions de la Loi du CNR N°114/1992 Sb. sur la protection de la nature et des terres.

### *Protection des terres agricoles*

#### *Loi*

- Loi du CNR N°334/1992 Sb. sur la protection des terres agricoles, telle que modifiée par les amendements et adjonction apportés à la Loi du CNR N°10/1993 Sb. et la Loi N°98/1999 Sb.

### *Réglementation*

- Règlement du MZP N°13/1994 Sb. qui établit certains aspects détaillés de la protection des terres agricoles.

### *Foresterie*

#### *Lois*

- Loi N°289/1995 Sb. sur les forêts et sur les modifications et adjonctions à certaines lois (Loi sur la foresterie).
- Loi du CNR N°282/1991 Sb. sur le Service tchèque d'inspection de l'environnement et ses activités en matière de protection de la forêt.

### *Réglementation*

- Règlement du MZe [*Ministerstvo zemědělství*] (Ministère de l'agriculture) N°82/1996 Sb. sur la classification génétique, la rénovation de la forêt, la foresterie ainsi que sur l'inscription des semences d'espèces ligneuses forestières et le traitement des plants.
- Règlement du MZe N°77/1996 Sb. sur les prescriptions applicables aux demandes de retrait ou de limitation, et sur les aspects détaillés de la protection, des terres affectées à la foresterie.

### *Protection de l'environnement minéral*

#### *Lois*

- Loi N° 44/1988 Sb. sur la protection et l'utilisation des matières premières (Loi minière, modifiée par la Loi du CNR N°541/1991 Sb. (texte intégral dans N°439/1992 Sb. applicable à la République tchèque) et modifications résultant de la Loi du CNR N°10/1993 Sb. et de la Loi N°168/1993 Sb.



- Loi du CNR N°61/1988 Sb. sur les activités minières, les explosifs et l'administration minière d'État, modifiée par la Loi du CNR N°425/1990 Sb. et la Loi du CNR N°542/1991 Sb. (texte intégral relatif au Règlement de la République tchèque modifié par la Loi N°440/1992 Sb.) et la Loi N°169/1993 Sb.
- Loi du CNR N°62/1988 Sb. sur les travaux géologiques et sur le Service géologique tchèque [*Cesky geologicky ustav – CGU*], modifiée par la Loi du CNR N°543/1991 Sb. et la Loi N°369/1992 Sb.

### *Réglementation*

- Règlement du CBU N°104/1988 Sb. sur l'utilisation rationnelle des gisements de minéraux prescrits, sur la procédure d'autorisation et l'inscription des activités minières ainsi que des activités menées par des méthodes extractives, modifié par le Règlement du CBU N°242/1993 Sb.
- Règlement du CBU N°172/1992 Sb. sur les concessions minières.
- Règlement du MZP de la République tchèque N°364/1992 Sb. sur la zone protégée des gisements de matières premières.
- Règlement du CBU N°15/1995 SB. sur les licences minières.
- Règlement du CBU N°52/1997 Sb. qui fixe les prescriptions en vue d'assurer la protection de la sécurité et de la santé au travail ainsi que la sûreté des travaux aux cours du déclassement des principaux chantiers miniers.
- Règlement du CBU N°158/1997 Sb. qui modifie et complète le Règlement du CBU N°435/1992 Sb. sur la documentation des levés souterrains (tenue des registres) au cours des activités minières et de certaines activités menées par des méthodes extractives.

### *Rayonnements ionisants*

#### *Loi*

- Loi N°18/1997 Sb. sur l'utilisation pacifique de l'énergie nucléaire et des rayonnements ionisants (Loi atomique) et sur les modifications et adjonctions apportées à certaines lois.

### *Réglementation*

- Règlement du SÚJB [*Státní úřad pro jadernou bezpečnost*] (Office d'État pour la sûreté nucléaire) N°146/1997 Sb. établissant des mesures ayant un impact direct sur la sûreté nucléaire et revêtant une importance particulière pour la radioprotection, des prescriptions sur les qualifications professionnelles spéciales, la vérification de ces qualifications et l'autorisation du personnel sélectionné, ainsi que sur la procédure d'établissement des dossiers d'agrément de la formation du personnel sélectionné.
- Règlement du SÚJB N°184/1997 Sb. sur le régime de radioprotection.
- Règlement du SÚJB N°214/1997 Sb. relatif à l'assurance de qualité au cours d'activités liées à l'utilisation de l'énergie nucléaire et aux pratiques comportant une exposition aux rayonnements et relatif à l'établissement des critères de classification des appareils sélectionnés dans les classes de sûreté.

- Règlement du SÚJB N°196/1999 Sb. relatif au déclassement des installations nucléaires et des lieux de travail possédant des sources de rayonnement ionisant importantes ou très importantes.

## ***Divers***

### *Lois*

- Loi N°13/1997 Sb. sur les voies de circulation terrestres, modifiée par la loi N°259/1998 Sb.
- Loi N°77/1997 Sb. sur l'entreprise d'État.
- Loi N°19/1997 Sb. sur certaines mesures liées à l'interdiction des armes chimiques et sur les modifications et adjonctions apportées à la Loi N°50/1976 Sb. sur la planification territoriale et le code de la construction (Loi sur la construction), dans les versions plus tardives, la Loi N°455/1991 Sb. sur les activités industrielles et commerciales (Loi sur les entreprises) dans les versions plus tardives, et la Loi N°140/1961 Sb., Loi sur le droit pénal, dans les versions plus tardives.
- Loi N°197/1998 Sb. sur la planification territoriale et le code de la construction (texte intégral dans la Loi N°50/1976, avec ses modifications et adjonctions).

## ***Hygiène***

### *Loi*

- Loi N°20/1966 SB. sur les soins de santé à la population, modifiée et complétée par les Lois N°60/1995 Sb., N°14/1997 Sb., N°206/1996 Sb., N°79/1997 Sb., N°110/1997 Sb., N°83/1998 Sb., N°167/1998 Sb. (texte intégral : Loi N°20/1966 Sb.-Loi N°86/1992 Sb.).

### *Réglementation*

- Règlement du MZd [*Ministerstvo zdravotnictví*] (Ministère de la Santé) N°45/1966 Sb. sur l'instauration et la protection de conditions de vie saines, modifié et complété par les Lois N°146/1971 Sb., N°185/1990 Sb., N°14/19998 Sb., N°292/1998 Sb.
- Règlement du MZd N°13/1977 Sb. sur la protection de la santé contre l'influence nocive du bruit et des vibrations.

Note explicative sur les institutions d'État et les organismes administratifs d'État menant des activités en matière de déclassement et de réaménagement :

1. Ministère de l'industrie et du commerce de la République tchèque – fondateur de l'entreprise d'État DIAMO, autorité de tutelle, qui assigne les tâches résultant de décrets du gouvernement, approuve les concepts, les projets, les conditions de réalisation et le financement.
2. Ministère de l'environnement (MZP) de la République tchèque, Bureaux régionaux (Départements) – chargé de mettre en œuvre l'administration et le contrôle de l'État dans le domaine de l'environnement.

3. Service tchèque d'inspection de l'environnement – vérifie le respect de la réglementation et des décisions des organismes administratifs compétents en matière d'environnement. Il fixe les conditions et les dates limites d'exécution des tâches et impose des sanctions
4. Bureau chargé de l'environnement auprès de l'Autorité du comté – établit les conditions applicables aux activités en matière d'environnement, vérifie le respect de la réglementation et des décisions prises, arrête des mesures et des dates limites pour l'amélioration de la situation.
5. Bureau tchèque des mines (CBU)/Bureau régional des mines – chargé d'exercer l'administration et le contrôle de l'État dans les organisations menant des activités minières.
6. Office d'État pour la sûreté nucléaire (SÚJB) – chargé d'exercer l'administration et le contrôle de l'État en ce qui concerne l'utilisation de l'énergie nucléaire, les activités entraînant une irradiation et les sujets nucléaires.
7. Services d'hygiène de la région et du comté – chargé d'exercer un contrôle en matière d'hygiène pour le compte du Ministère de la santé.
8. Ministère de l'industrie et du commerce, Bureau de la construction chargé de l'industrie de l'uranium – assure la direction administrative de la construction dans l'industrie de l'uranium dans les zones spécifiés à ces fins.

### **Aperçu rétrospectif des activités de déclassement et de réaménagement**

Les premiers travaux importants de déclassement et de réaménagement après exploitation minière de l'uranium ont été exécutés au cours des années 50. Ces travaux ont d'ordinaire été entrepris après l'épuisement du gisement ou l'achèvement des activités de prospection, de production et de traitement. Les mines d'uranium de Jachymov, Horni Slavkov, la mine à ciel ouvert de Hajek, l'usine de traitement de Nejdek et d'autres en sont des exemples. Du fait que ces travaux de réaménagement n'ont pas toujours été suffisants, ces sites ont été qualifiés de « historiques ». Au cours de 1993 et 1997, un inventaire de ces sites historiques a été dressé. Depuis 1998, le Projet de réaménagement des sites historiques de l'industrie de l'uranium est mis en œuvre. Ce projet est prévu pour prendre fin d'ici à 2007 et devrait coûter 232,3 millions de CZK (6,6 millions d'USD).

Le volume le plus important de travaux de déclassement et de réaménagement correspond au programme de repli de l'industrie tchécoslovaque de l'uranium. Ces travaux se poursuivront approximativement jusqu'en 2040 et devraient coûter plus de 60 milliards de CZK (1,7 milliards d'USD).

Le premier programme de repli de la production a été approuvé par le Gouvernement de l'ex-République fédérative tchèque et slovaque en 1989. Les principales raisons justifiant la mise en œuvre d'un tel programme étaient les coûts élevés des gisements à faible teneur, les conditions géologiques et hydrogéologiques complexes de l'exploitation minière, et une conjoncture défavorable sur le marché de l'uranium. Ce programme de repli consiste à :

- Mettre fin à la prospection de l'uranium en Tchécoslovaquie.
- Continuer de réduire les volumes extraits et la production de concentré d'uranium.
- Assurer le financement de ce programme sur fonds publics sans contribution supplémentaire à la production.
- Stocker les excédents de production de concentré d'uranium dans des réserves d'État.

- Mettre en place un calendrier de fermeture de mines et d'usines de traitement.
- Restructurer l'industrie de l'uranium.
- Réduire les effectifs de personnel et, parallèlement, mettre en place des activités de remplacement pour les agents sans emploi.

Étant donné les modifications des besoins de l'énergie nucléaire nationale, l'évolution défavorable à long terme des coûts de production et la baisse continue des prix sur le marché de l'uranium, le gouvernement a pris d'autres décrets accentuant et accélérant le programme de repli. La production a diminué étape par étape pour s'établir à 23% de la production de 1989, soit à environ 600 t d'U par an en 1999. Près de 90% des salariés ont été licenciés, les effectifs étant aujourd'hui de 3779 personnes. En 1992, l'État a cessé de financer la production de l'uranium. L'État ne couvre que les coûts des activités de déclasserement et de réaménagement, les coûts liés aux « sites historiques » et les coûts de la part sociale du programme de repli.

### ***Aperçu des décrets du gouvernement sur le programme de repli de la production d'uranium dans la République tchèque***

1. *Décret du Présidium du Gouvernement de la République socialiste tchécoslovaque (en date du 19 octobre 1989, N°94)* – sur la conception du programme de repli de la production, dans la perspective d'une baisse de la rentabilité de la production de l'uranium en URSS au cours des années 90, pendant le 9ème et 10ème plan quinquennal.
2. *Décret du Gouvernement de la République fédérale tchèque et slovaque (RFTS) (en date du 17 décembre 1990, N°894)* – sur la modification de la conception de programme de repli de la production dans la RFTS par suite des besoins de la production électronucléaire et du rapport sur la vérification des conditions de mise en œuvre du programme de repli en 1990 et 2000.
3. *Décret du Gouvernement de la République tchèque (en date du 20 décembre 1991, N°533)* – sur la réalisation de modifications dans la conception de la production d'uranium par suite des besoins de la production électronucléaire tchécoslovaque en 1992 et au cours des années suivantes.
4. *Décret du Gouvernement de la République tchèque (en date du 20 mai 1992, N°366)* – eu égard aux résultats d'une évaluation complexe de la lixiviation *in situ* de l'uranium dans la région de Ceska Lipa et à la suite des travaux visant à définir un mode de production et de réaménagement de ce gisement.
5. *Décret du Gouvernement de la République tchèque (en date du 11 août 1993, N°429)* – sur la modification de la conception du programme de repli de la production et la mise sous surveillance de la mine de Hamr I.
6. *Décret du Gouvernement de la République tchèque (en date du 26 avril 1995, N°244)* – sur la réalisation du programme de repli de la production et du traitement de l'uranium dans la République tchèque.
7. *Décret du Gouvernement de la République tchèque (en date du 6 mars 1996, N°170)* – sur la présentation de rapports relatifs au déroulement du réaménagement du site de lixiviation *in situ* de l'uranium à Straz pod Ralskem.
8. *Décret du Gouvernement de la République tchèque (en date du 16 juillet 1997, N°427)* – sur la présentation de rapports relatifs à l'évaluation de l'extraction et du traitement du minerai d'uranium dans la région de Dolni Rozinka, et sur le suivi du déroulement des opérations dans ce cas.

9. *Décret du Gouvernement de la République tchèque (en date du 21 juillet 1999, N°750) – sur la présentation de rapports relatifs à la prolongation pendant 4 ans du repli de la production d’uranium, avec possibilité de production à partir de réserves facilement exploitables sur les sites de mines actuellement fermées.*

**Aperçu du calendrier du régime spécial mis en place pour la production, de la mise sous surveillance et de la fermeture de mines et d’usines de traitement**

Zone	Date de démarrage		
	Mine/Usine de traitement	Régime spécial	Mise sous cocon
<b>Mines d’uranium de Bohême occidentale</b>			
Mine de Okrouhla Radoun	–	–	1 <sup>er</sup> avril 1990
Mine de Dylen	–	–	1 <sup>er</sup> janvier 1991
Mine de Vitkov II	–	–	1 <sup>er</sup> janvier 1991
Mine de Zadni Chodov	–	–	1 <sup>er</sup> janvier 1993
<b>Mines d’uranium de Pribram</b>			
Mine III	–	–	1 <sup>er</sup> juillet 1990
Mine IV	–	–	1 <sup>er</sup> octobre 1991
<b>Mines d’uranium de Dolni Rozinka</b>			
Mine d’Olsi	–	–	1 <sup>er</sup> janvier 1989
Mines RI, RII	–	–	1 <sup>er</sup> janvier 2002*
<b>Mines d’uranium de Hamr</b>			
Mine de Krizany	–	–	1 <sup>er</sup> mai 1990
Mine de Hamr I	–	1 <sup>er</sup> juillet 1993	1 <sup>er</sup> mai 1995
Mine LIS de Straz pod Ralskem	1 <sup>er</sup> juillet 1992	–	1 <sup>er</sup> mars 1996
<b>Usines de traitement</b>			
MAPE de Mydlovary	–	–	1 <sup>er</sup> novembre 1991
CHU de Straz pod Ralskem	–	1 <sup>er</sup> juillet 1993	1 <sup>er</sup> mai 1995
CHU de Dolni Rozinka	–	–	1 <sup>er</sup> janvier 2002*
<b>Prospection de l’uranium</b>			
Forage de Licomerice	–	–	1 <sup>er</sup> janvier 1986
Forage de Brzkov	–	–	1 <sup>er</sup> juillet 1990
Forage de Pucov	–	–	1 <sup>er</sup> juillet 1990
Forage de Novoveska Huta**	–	–	1 <sup>er</sup> janvier 1991

\* Dates indiquées par le Décret du Gouvernement de la République tchèque en date du 16 juillet 1997, N°427.

\*\* Installations minières d’uranium en Slovaquie.

**Installations faisant l’objet d’activités de réaménagement en cours ou futures**

***Mine de Okrouhla Radoun***

*Caractéristiques de l’installation*

- Historique succinct : production entre 1972 et 1990. Deux puits d’extraction, 3 puits d’exploration et 41,6 km de galeries d’exploitation minière. Concession minière : 1,4 km<sup>2</sup>. Profondeur d’exploitation : 600 m sous la surface. Production : 1 339,5 t d’U. Le minerai a été traité dans l’usine MAPE de Mydlovary.

- Type d'activité : Exploitation minière de l'uranium en souterrain. Méthode : abattage en gradins renversés avec remblayage et exploitation par gradins droits. Lixiviation à la soude des minerais à faible teneur effectuée en surface.
- État actuel : La mine est déclassée et a été noyée, la surface décontaminée et réaménagée. Les bâtiments utilisables ont été vendus.

#### *Les problèmes environnementaux et leurs solutions*

Eaux d'exhaure : rejet des eaux d'exhaure contaminées après noyage de la mine. Pompage direct et traitement des eaux rejetées.

Type d'eau	Quantité	Contaminants principaux et secondaires	
Eaux neutres pompées à partir de la mine	71 000 m <sup>3</sup> /an	PH = 6,8-7,0 U = 1,3-11,3 g.m <sup>-3</sup> <sup>226</sup> Ra = 600-1 450 Bq.m <sup>-3</sup> TSD = 0,8-1,1 kg.m <sup>-3</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , Cl <sup>-</sup> , Fe

#### *Bassins de décantation des résidus*

Aucun.

#### *Déblais de stériles*

Type : stériles exclusivement ; volume de matières déposées : 700 000 m<sup>3</sup> ; superficie : 45 000 m<sup>2</sup> ; état : réaménagés.

#### *Surveillance de l'environnement*

La surveillance de l'environnement dans la zone suit le programme approuvé par les autorités compétentes de l'administration publique et par les experts chargé du contrôle. Ce programme définit l'étendue, la fréquence et la méthodologie d'échantillonnage et le mode d'évaluation. Les travaux d'échantillonnage et d'analyse sont exécutés par l'entreprise DIAMO et des laboratoires extérieurs. Les résultats de la surveillance sont périodiquement évalués et utilisés pour des analyses de risque, des projets, la gestion des travaux de réaménagement et des études d'impact sur l'environnement. L'état de l'environnement des zones affectées par les activités de l'entreprise DIAMO est publié. Les principaux paramètres faisant l'objet de la surveillance sont :

- Eaux d'exhaure : U, Ra, matières en suspension totales (MEST), total des solides dissous (TSD), BCO<sub>5</sub>.
- Air : dépôt de poussières - U, Ra et activité volumique de Rn.

#### *Coûts*

Déclassement et réaménagement (1990-1998)	44,9 millions de CZK (1,3 million d'USD)
Pompage et traitement de l'eau, surveillance, entretien (1999-2006)	11,3 millions de CZK (0,3 million d'USD)
Total (1990-2006)	56,2 millions de CZK (1,6 million d'USD)

## **Mine de Dylen**

### *Caractéristiques de l'installation*

- Historique succinct : Production entre 1965 et 1991. Au début, mine à ciel ouvert, puis 2 puits et 28,2 km de galeries d'exploitation minière. La superficie de la concession minière était de 0,539 km<sup>2</sup>. La profondeur d'exploitation était de 1200 m sous la surface. La production totale s'est élevée à 1 100,5 t d'U. Le minerai a été traité dans l'usine MAPE de Mydlovary.
- Type d'activité : Exploitation minière de l'uranium à ciel ouvert et en souterrain. Méthode : abattage du minerai par chambre vide, en gradins renversés et en gradins renversés avec remblayage différé.
- État actuel : mine déclassée, noyée, décontaminée en surface et partiellement réaménagée.

### *Les problèmes environnementaux et leurs solutions*

Eaux d'exhaure : Mine noyée. Pas de rejets vers la surface.

### *Déblais de stériles*

Type : Exclusivement des stériles ; volume de matières déposées : 218 000 m<sup>3</sup> ; superficie : 20 000 m<sup>2</sup> ; pierres partiellement concassées, partiellement réaménagés.

### *Bassins de décantation des résidus*

Aucun.

### *Coûts*

Déclassement et réaménagement (1991-1998)	22,8 millions de CZK (0,7 million d'USD)
Fin du réaménagement de la zone (1999-2002)	3,0 millions de CZK (0,1 million d'USD)
Total (1993-2002)	25,8 millions de CZK (0,8 million d'USD)

## **Mine de Vítkov II**

### *Caractéristiques de l'installation*

- Historique succinct : Exploitation minière entre 1961 et 1991. Deux puits, 2 puits d'exploration et 83,0 km de galeries d'exploitation minière. La superficie de la concession minière était de 0,990 km<sup>2</sup>. La profondeur d'exploitation était de 1 050 m sous la surface. Volume total extrait : 3 972,6 t d'U. Le minerai a été traité dans l'usine MAPE de Mydlovary.
- Type d'activité : exploitation minière de l'uranium en souterrain. Méthode : abattage en gradins renversés avec remblayage et exploitation par gradins droits. Aussi exploitation partiellement à ciel ouvert.
- État actuel : Mine déclassée, noyée en souterrain, décontaminée et réaménagée en surface. Bâtiments utilisables prêts en vue de la vente ou du démantèlement.

### Les problèmes environnementaux et leurs solutions

Eaux d'exhaure : infiltration d'eaux d'exhaure contaminées à la surface après noyage de la mine. Mesures correctives exécutées (cimentation des trous de forage). Surveillance.

Type d'eau	Quantité	Contaminants principaux et secondaires	
Eaux d'exhaure neutres	0 m <sup>3</sup> /an	pH = 6,8-7,0 U = 0,02-0,74 g.m <sup>-3</sup> <sup>226</sup> Ra = 40-3 490 Bq.m <sup>-3</sup> TSD = 0,7-1,0 kg.m <sup>-3</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , Cl <sup>-</sup> , Fe

### Bassins de décantation des résidus

Aucun.

### Déblais de stériles

Enlevés (pierre concassée). Zone réaménagée.

### Surveillance de l'environnement

La surveillance de l'environnement dans la zone suit le programme approuvé par les autorités compétentes de l'administration publique et par les experts chargé du contrôle. Ce programme de surveillance définit l'étendue, la fréquence et la méthodologie d'échantillonnage et le mode d'évaluation. Les travaux d'échantillonnage et d'analyse sont exécutés par l'entreprise DIAMO et des laboratoires extérieurs. Les résultats de la surveillance sont périodiquement évalués et utilisés pour des analyses de risque, des projets, la gestion des travaux de réaménagement et des études d'impact sur l'environnement. L'état de l'environnement des zones affectées par les activités de l'entreprise DIAMO est publié. Les principaux paramètres faisant l'objet de la surveillance sont :

- Eaux d'exhaure : U, Ra, matières en suspension totales (MEST), total des solides dissous (TSD), BCO<sub>4,5</sub>.
- Air : dépôt de poussières – U, Ra.

### Coûts

Déclassement et réaménagement (1991-1998)	39,3 millions de CZK (1,1 million d'USD)
Fermeture et réaménagement (1999-2005)	54,3 millions de CZK (1,6 million d'USD)
Pompage et traitement de l'eau, surveillance, entretien (1999-2015)	35,7 millions de CZK (1,0 million d'USD)
Total (1991-2015)	129,3 millions de CZK (3,7 millions d'USD)



## Mine de Zadni Chodov

### Caractéristiques de l'installation

- Historique succinct : exploitation minière entre 1953 et 1993. Cinq puits et 167,4 km de galeries d'exploitation minière. La superficie de la concession minière était de 7,2 km<sup>2</sup>. La profondeur d'exploitation était de 1 200 m sous la surface. La production totale s'est élevée à 4 150,7 t d'U. Le minerai a été traité dans l'usine MAPE de Mydlovary.
- Type d'activité : exploitation minière de l'uranium en souterrain. Méthode : abattage en gradins renversés avec remblayage et exploitation par gradins droits sans remblayage (foudroyage sous toit artificiel).
- État actuel : mine déclassée, noyée en souterrain, décontaminée et partiellement réaménagée en surface. Les déblais de stériles ont été concassés. Les bâtiments utilisables sont préparés en vue de la vente ou du démantèlement.

### Les problèmes environnementaux et leurs solutions

Eaux d'exhaure : infiltration d'eau d'exhaure contaminée à la surface après noyage de la mine. Pompage et traitement de l'eau.

Type d'eau	Quantité	Contaminants principaux et secondaires	
Eaux neutres pompées à partir du chantier minier	314 200 m <sup>3</sup> /an	pH = 6,8-7,3 U = 2,8-9,3 g.m <sup>-3</sup> <sup>226</sup> Ra = 3 120-6 225 Bq.m <sup>-3</sup> TSD = 1,35-1,45 kg.m <sup>-3</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , Cl <sup>-</sup> , Fe

### Bassins de décantation des résidus

Aucun.

### Déblais de stériles

- Volume de matières déposées : 2 581 900 m<sup>3</sup>.
- Superficie : 227 270 m<sup>2</sup>.
- État : en cours d'enlèvement (concassage en cours), non réaménagés.

### Surveillance de l'environnement

La surveillance de l'environnement dans la zone suit le programme approuvé par les autorités compétentes de l'administration publique et par les experts chargé du contrôle. Ce programme définit l'étendue, la fréquence et la méthodologie d'échantillonnage et le mode d'évaluation. Les travaux d'échantillonnage et d'analyse sont exécutés par l'entreprise DIAMO et des laboratoires extérieurs. Les résultats de la surveillance sont périodiquement évalués et utilisés pour des analyses de risque, des projets, la gestion des travaux de réaménagement et des études d'impact sur l'environnement. L'état

de l'environnement des zones affectées par les activités de l'entreprise DIAMO est publié. Les principaux paramètres faisant l'objet de la surveillance sont :

- Eaux d'exhaure : U, Ra, total des solides dissous (TSD), pH.
- Air : dépôt de poussières, U, Ra.

#### Coûts

Déclassement et réaménagement (1993-1998)	76,8 millions de CZK (2,2 millions d'USD)
Fermeture et réaménagement (1999-2005)	143,3 millions de CZK (4,1 millions d'USD)
Pompage et traitement de l'eau, surveillance, entretien (1999-2015)	75,1 millions de CZK (2,2 millions d'USD)
Total (1993-2015)	295,2 millions de CZK (8,5 millions d'USD)

#### Mine de Horni Slavkov

##### Caractéristiques de l'installation

- Historique succinct : exploitation minière entre 1948 et 1962. Vingt-six puits et 30 galeries débouchant au jour. La superficie de la concession minière était de 21,7 km<sup>2</sup>. La production totale s'est élevée à 2 668,3 t d'U. Le minerai a été traité dans l'installation de concentration gravimétrique Elias de Bratrstvi et dans l'usine de traitement chimique de Nejdek.
- Type d'activité : exploitation minière de l'uranium en souterrain. Méthode : abattage en gradins renversés avec remblayage.
- État actuel : Mine déclassée, noyée en souterrain, décontaminée et réaménagée en surface. « Site historique ».

##### Les problèmes environnementaux et leurs solutions

Eaux d'exhaure : Rejets continus des eaux d'exhaure contaminées à partir des mines d'uranium et autres se trouvant dans la zone. Un nouveau système de drainage et une station de traitement ont été construits.

Type d'eau	Quantité	Contaminants principaux et secondaires	
Eaux neutres pompées à partir du chantier minier	6 401 800 m <sup>3</sup> /an	pH = 6,0-6,3 U = 3,0-5,9 g.m <sup>-3</sup> <sup>226</sup> Ra = 300-600 Bq.m <sup>-3</sup> TSD = 0,49-0,52 kg.m <sup>-3</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , Fe, Mn

##### Bassins de décantation des résidus

Aucun.

### *Déblais de stériles*

- Volume de matières déposées : 4 382 968 m<sup>3</sup>.
- Superficie : 645 900 m<sup>2</sup>.
- État : boisement naturel.

### *Surveillance de l'environnement*

La surveillance de l'environnement dans la zone suit le programme approuvé par les autorités compétentes de l'administration publique et par les experts chargé du contrôle. Ce programme définit l'étendue, la fréquence et la méthodologie d'échantillonnage et le mode d'évaluation. Les travaux d'échantillonnage et d'analyse sont exécutés par l'entreprise DIAMO et des laboratoires extérieurs. Les résultats de la surveillance sont périodiquement évalués et utilisés pour des analyses de risque, des projets, la gestion des travaux de réaménagement et des études d'impact sur l'environnement. L'état de l'environnement des zones affectées par les activités de l'entreprise DIAMO est publié. Les principaux paramètres faisant l'objet de la surveillance sont :

- Eaux d'exhaure : U, Ra, matières en suspension totales (MEST), total des solides dissous (TSD), SO<sub>4</sub>, Fe, Mn.
- Air : activité volumique de Rn.

### *Coûts*

Nouvelles mesures de réaménagement – construction d'une galerie de drainage débouchant au jour et d'une station de traitement des eaux (1994-1999)	120,6 millions de CZK (3,5 millions d'USD)
Travaux continus de traitement de l'eau, de surveillance et d'entretien	7,5 millions de CZK/an (0,2 million d'USD/an)

### ***Bassin de décantation des résidus de NejdeK***

#### *Caractéristiques de l'installation*

- Historique succinct : bassin de décantation des résidus de l'ancienne usine de traitement chimique de NejdeK, en exploitation entre 1952 et 1959, utilisant le procédé de lixiviation par voie acide et ayant une capacité de 270 t/jour.
- Type d'activité : dépôt des résidus de l'usine de traitement chimique.
- État actuel : l'usine de traitement est déclassée. Le bassin de décantation des résidus est recouvert de matériaux inertes et reboisé. « Site historique ».

#### *Les problèmes environnementaux et leurs solutions*

Eaux de drainage : rejet d'approximativement 10 l.s<sup>-1</sup> d'eau contaminée à partir du bassin de décantation des résidus (teneur en U = 0,3-1.6 mg.l<sup>-1</sup>, <sup>226</sup>Ra = 478 mBq.l<sup>-1</sup>).

### *Bassins de décantation des résidus*

- Volume de matières déposées : 852 000 m<sup>3</sup>.
- Superficie : 135 000 m<sup>2</sup>.
- État : venue d'eaux de surface et souterraines dans le bassin de décantation. Influence sur la rivière Rolava. Système de drainage et de captage mal choisi. Danger d'instabilité des barrages. Reconstruction du système de drainage.

### *Déblais de stériles*

Aucun.

### *Surveillance de l'environnement*

La surveillance de l'environnement dans la zone suit le programme approuvé par les autorités compétentes de l'administration publique et par les experts chargé du contrôle. Ce programme définit l'étendue, la fréquence et la méthodologie d'échantillonnage et le mode d'évaluation. Les travaux d'échantillonnage et d'analyse sont exécutés par l'entreprise DIAMO et des laboratoires extérieurs. Les résultats de la surveillance sont périodiquement évalués et utilisés pour des analyses de risque, des projets, la gestion des travaux de réaménagement et des études d'impact sur l'environnement. L'état de l'environnement des zones affectées par les activités de l'entreprise DIAMO est publié. Les principaux paramètres faisant l'objet de la surveillance sont :

- Eaux de drainage : U, Ra, matières en suspension totales (MEST), total des solides dissous (TSD).
- Air : activité volumique de Rn.

### *Coûts*

Nouvelles mesures de réaménagement – reconstruction du système de drainage	7,5 millions de CZK (0,2 million d'USD).
--	--

### *Bassin de décantation des résidus d'Elias*

#### *Caractéristiques de l'installation*

- Historique succinct : bassin de décantation des résidus de l'ancienne usine de traitement physique d'Elias dans la zone de Jachymov. En exploitation entre 1949 et 1962.
- Type d'activité : dépôt des résidus de l'installation de concentration gravimétrique.
- État actuel : l'installation de traitement est déclassée. Le bassin de décantation des résidus est fermé. Reboisement partiel. « Site historique ».

### *Les problèmes environnementaux et leurs solutions*

Eaux de drainage : rejet d'eau contaminée à partir du bassin de décantation des résidus (teneur en U = 0,3-1,6 mg.l<sup>-1</sup>, <sup>226</sup>Ra = 475 mBq.l<sup>-1</sup>).

#### *Bassins de décantation des résidus*

- Volume de matières déposées : 1 467 000 m<sup>3</sup>.
- Superficie : 105 000 m<sup>2</sup>.
- État : venue d'eaux de surface et souterraines dans le bassin de décantation. Influence sur le ruisseau Eliassky. Système de drainage et de captage mal choisi. Danger d'instabilité des barrages. Reconstruction du système de drainage.

#### *Déblais de stériles*

Aucun.

#### *Surveillance de l'environnement*

La surveillance de l'environnement dans la zone suit le programme approuvé par les autorités compétentes de l'administration publique et par les experts chargé du contrôle. Ce programme définit l'étendue, la fréquence et la méthodologie d'échantillonnage et le mode d'évaluation. Les travaux d'échantillonnage et d'analyse sont exécutés par l'entreprise DIAMO et des laboratoires extérieurs. Les résultats de la surveillance sont périodiquement évalués et utilisés pour des analyses de risque, des projets, la gestion des travaux de réaménagement et des études d'impact sur l'environnement. L'état de l'environnement des zones affectées par les activités de l'entreprise DIAMO est publié. Les principaux paramètres faisant l'objet de la surveillance sont :

- Eaux de drainage : U, Ra, matières en suspension totales (MEST), total des solides dissous (TSD).
- Air : activité volumique de Rn.

#### *Coûts*

Nouvelles mesures de réaménagement – reconstruction du système de drainage	7,5 millions de CZK (0,2 million d'USD)
--	---

### *Mine à ciel ouvert de Hajek*

#### *Caractéristiques de l'installation*

- Historique succinct : mine d'uranium à ciel ouvert exploitée entre 1965 et 1966 et entre 1968 et 1971. Production totale : 202,7 t d'U, basalte (846 458 m<sup>3</sup>), kaolin (243 617 m<sup>3</sup>) et bentonite (5 325 m<sup>3</sup>). La mine à ciel ouvert avait une profondeur de 85 m. La superficie de la concession minière était de 0,73 km<sup>2</sup>. Entre 1966 et 1968, 5 000 t d'isomères et de chlorobenzène issues de la production chimique de HCH (hexachlorocyclohexane) de l'entreprise SPOLANA de Neratovice ont été déposées dans la décharge.

- Type d'activité : dépôt dans la décharge de stériles provenant de l'exploitation minière à ciel ouvert de l'uranium.
- État actuel : la mine à ciel ouvert est déclassée. La surface est décontaminée et réaménagée. « Site historique ».

#### *Les problèmes environnementaux et leurs solutions*

Eaux d'exhaure : rejet d'eau contaminée provenant de la décharge. Nouvelles mesures de réaménagement :

- Phase 1 – confinement, drainage, évaluation de l'efficacité.
- Phase 2 – nouveau système de drainage et de captage de l'eau.

#### *Bassins de décantation des résidus*

Aucun.

#### *Déblais de stériles*

- Volume de matières déposées : 7 000 000 m<sup>3</sup>.
- Superficie : 120 000 m<sup>2</sup>.
- État : réaménagé.

#### *Surveillance de l'environnement*

La surveillance de l'environnement dans la zone suit le programme approuvé par les autorités compétentes de l'administration publique et par les experts chargé du contrôle. Ce programme définit l'étendue, la fréquence et la méthodologie d'échantillonnage et le mode d'évaluation. Les travaux d'échantillonnage et d'analyse sont exécutés par l'entreprise DIAMO et des laboratoires extérieurs. Les résultats de la surveillance sont périodiquement évalués et utilisés pour des analyses de risque, des projets, la gestion des travaux de réaménagement et des études d'impact sur l'environnement. L'état de l'environnement des zones affectées par les activités de l'entreprise DIAMO est publié. Les principaux paramètres faisant l'objet de la surveillance sont :

- Eaux de drainage des déblais de stériles : HCH (hexachlorocyclohexane), CB (chlorobenzène), isomères.

#### *Coûts*

Surveillance, analyse de risque (1993-1998)	3,1 millions de CZK (0,1 million d'USD)
Nouvelles mesures de réaménagement Phase 1 (1999-2000)	63,0 millions de CZK (1,8 million d'USD)
Phase 2 (jusqu'en 2002)	Pas encore spécifié
Total (1993-2000)	66,1 millions de CZK (1,9 million d'USD)

## Mines de Příbram

### Caractéristiques de l'installation

- Historique succinct : production entre 1950 et 1991. Quarante et un puits (14 descenderies), 42 petits puits d'exploration, 4 galeries débouchant au jour et 2 188,3 km de galeries d'exploitation minière. La superficie de la concession minière était de 57,6 km<sup>2</sup>. La profondeur d'exploitation était d'approximativement 1 400 m sous la surface (gisement s'étendant jusqu'à une profondeur de 1 750 m). Production totale de 48 432,2 t d'U. Le minerai a fait l'objet d'un traitement physique sur place et à partir de 1962 dans l'usine MAPE de Mydlovary.
- Après cessation de la production (1992-1998), le sous-sol de l'une des mines (Mine IV, puits N°16) a été utilisé pour l'aménagement d'un stockage souterrain de gaz (capacité de 620 000 m<sup>3</sup>).
- Type d'activité : exploitation minière de l'uranium en souterrain. Méthode – abattage en gradins renversés avec remblayage et extraction sélective. Traitement physique du minerai.
- État actuel : mines déclassées en cours de noyage pour la partie souterraine (jusqu'en 2007), partiellement réaménagées en surface. Les déblais de stériles sont transformés en pierre concassée. Les bâtiments utilisables sont préparés en vue de la vente ou du démantèlement.

### Les problèmes environnementaux et leurs solutions

Eaux d'exhaure : infiltration d'eaux d'exhaure après noyage de la mine. Pompage et traitement des eaux d'infiltration (provenant des mines, des déblais de stériles, des bassins de décantation des résidus). Pertes d'eau dans les cours d'eau locaux (ruisseau de Příbram, ruisseau K Sazkam, etc.) imputable aux activités minières. Mesures de réaménagement.

Type d'eau	Quantité	Contaminants principaux et secondaires	
Eaux neutres pompées à partir des chantiers miniers	698 600 m <sup>3</sup> /an	PH = 6,9-7,1 U = 2,1-4,9 g.m <sup>-3</sup> <sup>226</sup> Ra = 1 355-1 620 Bq.m <sup>-3</sup> TSD = 0,8-1,2 kg.m <sup>-3</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , Fe, Mn

### Bassins de décantation des résidus

Dénomination	Superficie (m <sup>2</sup> )	Volume déposé (m <sup>3</sup> )	État
KI	330 000	98 800	partiellement réaménagé
KII	111 000	152 500	non réaménagé

### Déblais de stériles

- Superficie : 1 457 700 m<sup>2</sup>.
- Volume de matières déposées : 30 071 800 m<sup>3</sup>.

- État : en cours d'enlèvement (transformés en pierre concassée), pas réaménagés.

### *Surveillance de l'environnement*

La surveillance de l'environnement dans la zone suit le programme approuvé par les autorités compétentes de l'administration publique et par les experts chargé du contrôle. Ce programme définit l'étendue, la fréquence et la méthodologie d'échantillonnage et le mode d'évaluation. Les travaux d'échantillonnage et d'analyse sont exécutés par l'entreprise DIAMO et des laboratoires extérieurs. Les résultats de la surveillance sont périodiquement évalués et utilisés pour des analyses de risque, des projets, la gestion des travaux de réaménagement et des études d'impact sur l'environnement. L'état de l'environnement des zones affectées par les activités de l'entreprise DIAMO est publié. Les principaux paramètres faisant l'objet de la surveillance sont :

- Eaux d'exhaure : U, Ra, matières en suspension totales (MEST), total des solides dissous (TSD).
- Eaux de surface : U Ra, MEST, TSD, CHCO, BCO<sub>5</sub>, métaux lourds.
- Eaux d'infiltration des déblais de stériles : U Ra, TSD, MEST, pH, SO<sub>4</sub>, métaux lourds.
- Air : dépôt de poussières – U, Ra et activité volumique de Rn et concentration équivalente à l'équilibre du radon.

### *Coûts*

Déclassement et réaménagement (1990-1998)	324,7 millions de CZK (9,3 millions d'USD)
Fermeture et réaménagement (1999-2007)	551,7 millions de CZK (15,8 millions d'USD)
Traitement de l'eau, surveillance, entretien (après 2007)	Pas encore spécifiés
Total (1990-2007)	876,4 millions de CZK (25,0 millions d'USD)

### ***Mine d'Olši***

#### *Caractéristiques de l'installation*

- Historique succinct : exploitation minière entre 1959 et 1989. Cinq puits (3 descenderies), 2 galeries débouchant au jour, 3 puits d'exploration et 141,4 km de galeries d'exploitation minière. La superficie de la concession minière était de 6,29 km<sup>2</sup>. La production totale s'est élevée à 2 922,2 t d'U. La profondeur d'exploitation était de 900 m sous la surface.
- Type d'activité : exploitation minière de l'uranium en souterrain. Méthode – exploitation par gradins droits avec foudroyage sous toit artificiel et extraction sélective.
- État actuel : mine déclassée, noyée en souterrain, décontaminée et partiellement réaménagée en surface. Bâtiments utilisables vendus.

#### *Les problèmes environnementaux et leurs solutions*

Eaux d'exhaure : infiltration d'eaux d'exhaure contaminées après noyage de la mine. Pompage et traitement des eaux d'infiltration.



Type d'eau	Quantité	Contaminants principaux et secondaires	
Eaux neutres pompées à partir des chantiers miniers	234 100 m <sup>3</sup> /an	pH = 7,0-8,3 U = 1,4-4,0 g.m <sup>-3</sup> <sup>226</sup> Ra = 80-160 Bq.m <sup>-3</sup> TSD = 1,0-2,15 kg.m <sup>-3</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> Fe, Mn, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>

#### *Bassins de décantation des résidus*

Aucun.

#### *Déblais de stériles*

- Superficie : 125 000 m<sup>2</sup>.
- Volume de matières déposées : 800 000 m<sup>3</sup>.
- État : partiellement réaménagé.

#### *Surveillance de l'environnement*

La surveillance de l'environnement dans la zone suit le programme approuvé par les autorités compétentes de l'administration publique et par les experts chargé du contrôle. Ce programme définit l'étendue, la fréquence et la méthodologie d'échantillonnage et le mode d'évaluation. Les travaux d'échantillonnage et d'analyse sont exécutés par l'entreprise DIAMO et des laboratoires extérieurs. Les résultats de la surveillance sont périodiquement évalués et utilisés pour des analyses de risque, des projets, la gestion des travaux de réaménagement et des études d'impact sur l'environnement. L'état de l'environnement des zones affectées par les activités de l'entreprise DIAMO est publié. Les principaux paramètres faisant l'objet de la surveillance sont :

- Eaux de surface (rivière Haduvka) : U, Ra, NH<sub>4</sub>, pH, SO<sub>4</sub>, TSD, NO<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, Fe Mn.
- Eaux souterraines : U, Ra, NH<sub>4</sub>.
- Eau de drainage des décharges : U, Ra, SO<sub>4</sub>, TSD.
- Air : dépôt de poussières - U, Ra.
- Activité volumique de Rn.

#### *Coûts*

Déclassement et réaménagement (1989-1998)	178,1 millions de CZK (5,1 millions d'USD)
Achèvement du réaménagement, traitement de l'eau, surveillance, entretien (1999-2015)	116,3 millions de CZK (3,3 millions d'USD)
Total (1989-2015)	294,4 millions de CZK (8,4 millions d'USD)

## Mines de Rožná

### Caractéristiques de l'installation

- Historique succinct : La production a démarré en 1958 et se poursuit encore. L'usine de traitement chimique et deux bassins de décantation sont en exploitation depuis 1968. Au 1er janvier 2000, 15 978 t d'U avaient été produites à partir de ce gisement. Onze puits donnent accès à ce dernier et il existe 493,4 km de galeries d'exploitation minière. La profondeur d'exploitation se situe à 1 200 m sous la surface. La concession minière a une superficie de 12 km<sup>2</sup>.
- Type d'activité : exploitation minière de l'uranium en souterrain. Méthode – exploitation par gradins droits avec foudroyage sous toit artificiel, abattage en gradins renversés avec remblayage et extraction sélective. Usine de traitement chimique et bassins de décantation des résidus. Procédé de lixiviation par voie alcaline.
- État actuel : Dans les secteurs épuisés du gisement, le déclassement et le réaménagement sont en cours d'exécution (chantiers miniers, déblais de stériles, bassins de décantation des résidus, bâtiments non réutilisables). Il est prévu de poursuivre la production jusqu'en 2001 (Décret du Gouvernement de la République tchèque N°427/1997).

### Les problèmes environnementaux et leurs solutions

Eaux d'exhaure : infiltration d'eau contaminée. Pompage et traitement des eaux issues des activités minières.

Type d'eau	Quantité	Contaminants principaux et secondaires	
Eaux neutres pompées à partir des chantiers miniers	1 972 500 m <sup>3</sup> /an	pH = 6,8-8,8 U = 2,3-6,8 g/m <sup>3</sup> <sup>226</sup> Ra = 60-610 Bq/m <sup>3</sup> TSD = 1,1-2,05 kg/m <sup>3</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , Cl <sup>-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , Fe

### Bassins de décantation des résidus

Dénomination	Superficie (m <sup>2</sup> )	Volume déposé (m <sup>3</sup> )	État
Rozna KI	627 500	9 211 115	en exploitation
Zlatkov KII	274 400	851 195	en exploitation

### Déblais de stériles

Dénomination et type	Superficie (m <sup>2</sup> )	Volume déposé (m <sup>3</sup> )	État
Rozna 1 (stériles)	85 000	600 000	partiellement réaménagés
"	28 000	200 000	partiellement réaménagés
"	8 200	20 000	partiellement réaménagés
"	10 000	0	réaménagés

## Surveillance de l'environnement

La surveillance de l'environnement dans la zone suit le programme approuvé par les autorités compétentes de l'administration publique et par les experts chargé du contrôle. Ce programme définit l'étendue, la fréquence et la méthodologie d'échantillonnage et le mode d'évaluation. Les travaux d'échantillonnage et d'analyse sont exécutés par l'entreprise DIAMO et des laboratoires extérieurs. Les résultats de la surveillance sont périodiquement évalués et utilisés pour des analyses de risque, des projets, la gestion des travaux de réaménagement et des études d'impact sur l'environnement. L'état de l'environnement des zones affectées par les activités de l'entreprise DIAMO est publié. Les principaux paramètres faisant l'objet de la surveillance sont :

- Eaux d'exhaure : U, Ra, MEST, pH, TSD, SO<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>, Cl, CBO<sub>5</sub>, Fe, Mn.
- Eaux souterraines : U, Ra, pH, SO<sub>4</sub>, TSD, métaux lourds, PCB.
- Air : dépôt de poussières – U, Ra, activité volumique de Rn, concentration équivalente à l'équilibre du radon, NH<sub>3</sub> et H<sub>2</sub>S – émissions dues au procédé technologique utilisé dans l'usine de traitement de l'uranium.
- Contamination des sols : métaux lourds (Cu, Zn, Ni, Cr, Cd, Pb), apport de rayonnements gamma.
- Contamination des produits agricoles : U, Ra, Zn, Cu, Ni.

## Coûts

Déclassement et réaménagement (1993-1998)	213,9 millions de CZK (6,1 millions d'USD)
Déclassement et réaménagement (1999-2020)	5 847,8 millions de CZK (167,1 millions d'USD)
Traitement des eaux, surveillance entretien (2002-2030)	87,2 millions de CZK (2,5 millions d'USD)
Total (1993-2030)	6 148,9 millions de CZK (175,7 millions d'USD)

## Mine de Berzkov

### Caractéristiques de l'installation

- Historique succinct : production pendant le programme d'exploration détaillée entre 1988 et 1990. Un puits, petite mine à ciel ouvert et 6,6 km de galeries d'exploitation minière. La zone d'exploitation minière avait une superficie de 6,29 km<sup>2</sup>. La production totale s'est élevée à 65,3 t d'U. La profondeur d'exploitation était de 300 m sous la surface.
- Type d'activité : Exploration du gisement. Méthode d'exploitation – abattage en gradins renversés. Mine à ciel ouvert.
- État actuel : Exploration achevée. Gisement mis sous surveillance jusqu'en 2001. Mine partiellement réaménagée, partiellement déclassée, noyée en souterrain, décontaminée et partiellement réaménagé en surface.

### Les problèmes environnementaux et leurs solutions

Eaux d'exhaure : mine noyée. Pas d'infiltration vers la surface.

### *Bassins de décantation des résidus*

Aucun

### *Déblais de stériles*

- Type : décharge de minéral.
- Superficie : 24 800 m<sup>2</sup>.
- Volume de matières déposées : 80 000 m<sup>3</sup> (compte tenu des réserves d'U présentes dans le gisement).
- État : non réaménagé.

### *Surveillance de l'environnement*

La surveillance de l'environnement dans la zone suit le programme approuvé par les autorités compétentes de l'administration publique et par les experts chargés du contrôle. Ce programme définit l'étendue, la fréquence et la méthodologie d'échantillonnage et le mode d'évaluation. Les travaux d'échantillonnage et d'analyse sont exécutés par l'entreprise DIAMO et des laboratoires extérieurs. Les résultats de la surveillance sont périodiquement évalués et utilisés pour des analyses de risque, des projets, la gestion des travaux de réaménagement et des études d'impact sur l'environnement. L'état de l'environnement des zones affectées par les activités de l'entreprise DIAMO est publié. Les principaux paramètres faisant l'objet de la surveillance sont :

- Eaux d'exhaure : U, Ra, pH, matières en suspension totales (MEST), Fe, Mn, SO<sub>4</sub>.
- Eaux de drainage provenant des décharges : U, Ra, pH, MEST, Fe, Mn, SO<sub>4</sub>.
- Eaux souterraines : U, Ra, pH, MEST, Fe, Mn, TSD.

### *Coûts*

Fin du déclassement et du réaménagement après 2001	25 millions de CZK (0,7 million d'USD)
--	--

### *Mine de Pucov*

#### *Caractéristiques de l'installation*

- Historique succinct : production dans le cadre de l'exploration en 1963-1967 et 1974-1991. Un puits, 3 petits puits d'exploration, 2 galeries débouchant au jour, une mine à ciel ouvert et 15,4 km de galeries d'exploitation minière. La superficie de la concession minière était de 0,278 km<sup>2</sup>. La production totale s'est élevée à 311,2 t d'U. La profondeur d'exploitation était de 400 m sous la surface.
- Type d'activité : Exploration du gisement. Méthode d'exploitation minière – exploitation par gradins droits avec foudroyage, localement abattage en gradins renversés. Exploitation minière à ciel ouvert.
- État actuel : Les travaux d'exploration et de production ont pris fin. Mine partiellement déclassée, noyée en souterrain, décontaminée et partiellement réaménagée en surface.

### Les problèmes environnementaux et leurs solutions

Eaux d'exhaure : infiltration d'eaux d'exhaure contaminées après noyage de la mine. Pompage et traitement des eaux.

Type d'eau	Quantité	Contaminants principaux et secondaires	
Eaux neutres pompées à partir du chantier minier	151 800 m <sup>3</sup> /an	pH = 6,75 U = 0,18 g/m <sup>3</sup> <sup>226</sup> Ra = 500 Bq/m <sup>3</sup> TSD = 1,0 kg/m <sup>3</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , Fe, Mn

### Bassins de décantation des résidus

Aucun.

### Déblais de stériles

- Superficie : 48 000 m<sup>2</sup>.
- Volume de matières déposées : 150 000 m<sup>3</sup>.
- État : réaménagé.

### Surveillance de l'environnement

La surveillance de l'environnement dans la zone suit le programme approuvé par les autorités compétentes de l'administration publique et par les experts chargé du contrôle. Ce programme définit l'étendue, la fréquence et la méthodologie d'échantillonnage et le mode d'évaluation. Les travaux d'échantillonnage et d'analyse sont exécutés par l'entreprise DIAMO et des laboratoires extérieurs. Les résultats de la surveillance sont périodiquement évalués et utilisés pour des analyses de risque, des projets, la gestion des travaux de réaménagement et des études d'impact sur l'environnement. L'état de l'environnement des zones affectées par les activités de l'entreprise DIAMO est publié. Les principaux paramètres faisant l'objet de la surveillance sont :

- Eaux d'exhaure : U, Ra, pH, matières en suspension totales (MEST), total des solides dissous (TSD), Fe, Mn.
- Eaux de surface : U Ra, pH, MEST, TSD, Fe, Mn.
- Eaux souterraines : U Ra, pH, MEST, TSD, SO<sub>4</sub>, Fe, Mn.

### Coûts

Déclassement et réaménagement (1992-1998)	30,8 millions de CZK (0,9 million d'USD)
Achèvement du déclassement et du réaménagement, traitement des eaux, surveillance et entretien (1999-2014)	60,4 millions de CZK (1,7 millions d'USD)
Total (1992-2014)	91,2 millions de CZK (2,6 millions d'USD)

## Mine de Licomerice

### Caractéristiques de l'installation

- Historique succinct : production entre 1968 et 1982. Entre 1977 et 1985, on a procédé à une lixiviation biologique en souterrain et en surface à l'aide des eaux d'exhaure (pH = 3-4 avec H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> libre) et des bactéries aérobies (*thiobacillus ferrooxidans*). Deux puits (une descenderie), une galerie débouchant au jour et 9 km de galeries d'exploitation minière. La superficie de la concession minière était de 0,348 km<sup>2</sup>. La production totale s'est élevée à 383,3 t d'U.
- Type d'activité : Exploitation minière de l'uranium en souterrain. Méthode – exploitation par gradins droits avec foudroyage et abattage en gradins renversés avec remblayage. Lixiviation biologique en surface et en souterrain.
- État actuel : Mine déclassée, noyée en souterrain partiellement réaménagée en surface.
- « Site historique ».

### Les problèmes environnementaux et leurs solutions

Eaux d'exhaure : infiltration d'eaux d'exhaure contaminées après noyage de la mine. Pompage et traitement des eaux.

Type d'eau	Quantité	Contaminants principaux et secondaires	
Eaux d'exhaure neutres pompées à partir du chantier minier	76 200 m <sup>3</sup> /an	pH = 5,5 U = 0,2 g/m <sup>3</sup> <sup>226</sup> Ra = 810 Bq/m <sup>3</sup> TSD = 4,15 kg/m <sup>3</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , Fe, Mn

### Bassins de décantation des résidus

Aucun.

### Déblais de stériles

- Superficie : 47 000 m<sup>2</sup>.
- Volume de matières déposées : 120 000 m<sup>3</sup>.
- État : partiellement réaménagés.

### Surveillance de l'environnement

La surveillance de l'environnement dans la zone suit le programme approuvé par les autorités compétentes de l'administration publique et par les experts chargé du contrôle. Ce programme définit l'étendue, la fréquence et la méthodologie d'échantillonnage et le mode d'évaluation. Les travaux d'échantillonnage et d'analyse sont exécutés par l'entreprise DIAMO et des laboratoires extérieurs. Les résultats de la surveillance sont périodiquement évalués et utilisés pour des analyses de risque, des

projets, la gestion des travaux de réaménagement et des études d'impact sur l'environnement. L'état de l'environnement des zones affectées par les activités de l'entreprise DIAMO est publié. Les principaux paramètres faisant l'objet de la surveillance sont :

- Eaux d'exhaure : pH, U, Ra, Fe, Mn, matières en suspension totales (MEST), total des solides dissous (TSD).
- Eaux de surface : pH, U, Ra, Fe, Mn, TSD.
- Eaux souterraines : pH, U Ra, Fe, Mn TSD.

#### Coûts

Déclassement et réaménagement(1993-1998)	50,1 millions de CZK (1,4 million d'USD)
Fermeture et réaménagement(1999-2025)	13,3 millions de CZK (0,4 million d'USD)
Traitement des eaux, surveillance, entretien (1999-2025)	162,0 millions de CZK (4,6 millions d'USD)
Total (1993-2025)	225,4 millions de CZK (6,4 millions d'USD)

#### Mine de Krizany

##### Caractéristiques de l'installation

- Historique succinct : production entre 1982 et 1990. Deux puits et 24,7 km de galeries d'exploitation minière, 665 trous de forage de prospection à partir de la surface. La superficie de la concession minière était de 13,7 km<sup>2</sup>. La profondeur d'exploitation était de 190 m sous la surface. La production totale s'est élevée à 1 108 t d'U. Le minerai a été traité dans l'usine de traitement chimique de Straz pod Ralskem.
- Type d'activité : exploitation minière de l'uranium en souterrain. Méthode – extraction par chambres et piliers, et également à des fins expérimentales exploitation par longue taille.
- État actuel : mine partiellement déclassée, noyée en souterrain, décontaminée et partiellement réaménagée en surface. Bâtiments utilisables préparés en vue de la vente.

##### Les problèmes environnementaux et leurs solutions

Eaux d'exhaure : mine noyée. Pas d'infiltration en direction de la surface. Eaux de surface neutres et eaux provenant des déblais de stériles partiellement renvoyées dans la mine par pompage, et partiellement rejetées dans le ruisseau Druzcov.

Type d'eau	Quantité	Contaminants principaux et secondaires	
Eaux de surface et eaux de drainage des déblais de stériles neutres	non mesurée	pH = 7,7-8,2 U = 0,11-0,62 g/m <sup>3</sup> <sup>226</sup> Ra = 60-1 310 Bq/m <sup>3</sup> TSD = 0,5-19,3 g/m <sup>3</sup>	–

### *Bassins de décantation des résidus*

Aucun.

### *Déblais de stériles*

- Superficie : 38 900 m<sup>2</sup>.
- Volume de matières déposées : 424 000 m<sup>3</sup>.
- État : réaménagés.

### *Surveillance de l'environnement*

La surveillance de l'environnement dans la zone suit le programme approuvé par les autorités compétentes de l'administration publique et par les experts chargé du contrôle. Ce programme définit l'étendue, la fréquence et la méthodologie d'échantillonnage et le mode d'évaluation. Les travaux d'échantillonnage et d'analyse sont exécutés par l'entreprise DIAMO et des laboratoires extérieurs. Les résultats de la surveillance sont périodiquement évalués et utilisés pour des analyses de risque, des projets, la gestion des travaux de réaménagement et des études d'impact sur l'environnement. L'état de l'environnement des zones affectées par les activités de l'entreprise DIAMO est publié.

### *Coûts*

Déclassement et réaménagement (1990-1998)	42,2 millions de CZK (1,2 million d'USD)
Fermeture et réaménagement(1999-2005)	130,2 millions de CZK (3,7 millions d'USD)
Total (1990-2005)	172,4 millions de CZK (4,9 millions d'USD)

### *Mines de Hamr*

#### *Caractéristiques de l'installation*

- Historique succinct : production entre 1972 et 1993. Au cours de 1994 et 1995, la production à partir de la mine de Hamr a cessé et la mine a été mise sous surveillance. Le déclassement a débuté en 1995. La production à partir de la mine Hamr II n'a jamais démarré et cette mine est déclassée depuis 1988. La mine de Hamr I comporte 4 puits et 68 km de galeries d'exploitation minière. On a foré à partir de la surface 2 051 trous d'exploration (425 000 m). La superficie de la concession minière est de 12 km<sup>2</sup>. La profondeur d'exploitation était de 160 m sous la surface. La production totale s'est élevée à 13 205,9 t d'U. Le minerai a été traité dans l'usine chimique de Straz pod Ralskem. Cette usine a traité 77,3 millions de tonnes de minerai uranifère et 1,7 millions de tonnes de boues entre 1979 et 1993.
- La possibilité de rouvrir la mine et l'usine a été examinée en 1999.
- Type d'activité : exploitation minière de l'uranium en souterrain. Méthode – extraction par chambres et piliers avec remblayage, également à titre expérimental, exploitation par longue taille.



- Usine de traitement chimique et dépôt des résidus dans des bassins de décantation. Procédé de lixiviation par voie acide.
- État actuel : le déclassement en souterrain a été exécuté. L'espace excavé est en cours de comblement à l'aide de béton spécial. L'usine de traitement a été déclassée. Les bâtiments utilisables sont en cours de préparation en vue de la vente.

### *Les problèmes environnementaux et leurs solutions*

Eaux d'exhaure : traitement des eaux à la station locale centrale de décontamination de Hamr. Il a été procédé à des opérations sous contrôle de pompage, d'injection, de traitement et de rejet pendant le déclassement et le réaménagement de la zone. Système de barrières hydrauliques entre l'exploitation en souterrain et l'exploitation par LIS.

Type d'eau	Quantité	Contaminants principaux et secondaires	
Eaux neutres pompées à partir des chantiers miniers	8 657 600 m <sup>3</sup> /an	pH = 5,5-8,0 U = 0,1-0,6 g/m <sup>3</sup> <sup>226</sup> Ra = 120-400 Bq/m <sup>3</sup> TSD = 0,8-1,2 kg/m <sup>3</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , Cl <sup>-</sup> , Fe, Al, Mn, Zn, Ni
Eaux d'exhaure contaminées par des solutions acides de LIS	1 727 200 m <sup>3</sup> /an	pH = 2,2-3,5 U = 1,5-2,5 g/m <sup>3</sup> Ra <sup>226</sup> = 25 000-50 000 Bq/m <sup>3</sup> TSD = 3,0-5,0 kg/m <sup>3</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , Cl <sup>-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , Fe, Al, Mn, Zn, Ni, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>

### *Bassins de décantation des résidus*

Dénomination	Superficie (m <sup>2</sup> )	Volume déposé (m <sup>3</sup> )	État
Straz pod RalskemPhase 1	935 000	9 418 922	partiellement réaménagé
Straz pod RalskemPhase 2	935 000	828 310	non réaménagé

Les bassins de décantation des résidus sont utilisés pour le dépôt des résidus provenant du traitement chimique des eaux d'exhaure et des déchets issus du réaménagement.

### *Déblais de stériles*

Déblais de stériles	Superficie (m <sup>2</sup> )	Volume déposé (m <sup>3</sup> )	État
Puits N°1	17 600	42 980	réaménagé
Puits N°3	47 000	488 000	non réaménagé
Puits N°4 et 5	38 900	424 000	réaménagé
Puits N°6 et 7	16 300	81 000	réaménagé

### *Surveillance de l'environnement*

La surveillance de l'environnement dans la zone suit le programme approuvé par les autorités compétentes de l'administration publique et par les experts chargé du contrôle. Ce programme définit l'étendue, la fréquence et la méthodologie d'échantillonnage et le mode d'évaluation. Les travaux d'échantillonnage et d'analyse sont exécutés par l'entreprise DIAMO et des laboratoires extérieurs.

Les résultats de la surveillance sont périodiquement évalués et utilisés pour des analyses de risque, des projets, la gestion des travaux de réaménagement et des études d'impact sur l'environnement. L'état de l'environnement des zones affectées par les activités de l'entreprise DIAMO est publié. Les principaux paramètres faisant l'objet de la surveillance sont :

- Eaux d'exhaure : pH, MEST, TSD, BCO<sub>5</sub>, CHCO<sub>5</sub>, hydrocarbures, N-NO<sub>3</sub>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub>, F<sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, N-NH<sub>4</sub>, Fe<sub>total</sub>, Zn, Ba, <sup>226</sup>Ra, Pb, U, Ni, chlore organique extractible, P<sub>total</sub>, Be, Cd, As, Mn<sub>total</sub>, Ca, Mg, Cr<sub>total</sub>, <sup>232</sup>Th, <sup>230</sup>Th, <sup>210</sup>Pb, <sup>40</sup>K, activité alpha et bêta totale.
- Cours d'eau de surface : U, Ra, MEST, TSD, hydrocarbures, Zn, Ni, BCO<sub>5</sub>, CHCO, Na, Ca, K, Mg, F, Fe, Mn, Cl, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, acidité, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, SO<sub>4</sub>, pH.
- Eaux souterraines : surveillance de l'aquifère turonien et coniacien : pH, acidité, alcalinité, MEST, TSD, SO<sub>4</sub>, NH<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>, Cl<sup>-</sup>, F<sup>-</sup>, HCO<sub>3</sub>, Mg, Ca, Na, K, Al, Fe<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, Mn, U, Ra, Zn, Ni, NO<sub>2</sub>.
- Air : dépôt de poussières - U, Ra, activité volumique de Rn, concentration équivalente à l'équilibre du radon.
- Contamination du sol : Rayonnements gamma.

#### Coûts

Déclassement et réaménagement (1990-1998)	6 107,0 millions de CZK (174,5 millions d'USD)
Achèvement du déclassement et du réaménagement, pompage, traitement des eaux, surveillance, entretien (1999-2015)	6 893,0 millions de CZK (196,9 millions d'USD)
Total (1990-2015)	13 000,0 millions de CZK (371,4 millions d'USD)

#### **Installation de lixiviation in situ de Straz pod Ralskem**

##### *Caractéristiques de l'installation*

- Historique succinct : exploitation entre 1967 et 1996. Depuis 1996, l'uranium est obtenu en sous-produit du réaménagement. 2 210 trous de forage d'exploration et 7 684 puits de production ont été forés dans ce gisement. 35 puits de lixiviation ont été en production. La superficie de la concession minière est de 24,1 km<sup>2</sup>. La production antérieure à 1996 s'est élevée à 15 562 t d'U. La profondeur d'exploitation était de 220 m sous la surface.
- Type d'activité : extraction par lixiviation *in situ* (LIS) à l'aide de puits à partir de la surface. Lixiviation par voie acide (agent de lixiviation : H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, agent d'oxydation : HNO<sub>3</sub>).
- État actuel : déclassement et réaménagement des puits de lixiviation. Réaménagement de la partie souterraine.

##### *Les problèmes environnementaux et leurs solutions*

Eaux d'exhaure : les eaux souterraines ont été contaminées par les opérations de LIS de l'uranium sur le gisement de Straz. 4 000 200 t de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ont été injectées dans le sous-sol. Il est procédé au pompage sous contrôle et au traitement de l'eau dans la station en vue de l'élimination des solutions acides (principe d'évaporation). Un réaménagement à grande échelle a été entrepris.

État visé : extraction par pompage des solutions enrichies en uranium à partir du sous-sol ; réaménagement de l'environnement dans la zone affectée par les opérations de LIS.

Type d'eau	Quantité	Contaminants principaux et secondaires	
Eaux contaminées par les solutions de LIS – turonien	475 700 m <sup>3</sup> /an	pH = 3-5,7 U = 0,05-0,2 g/m <sup>3</sup> <sup>226</sup> Ra = 50-800 Bq/m <sup>3</sup> TSD = 2,0-5,0 kg/m <sup>3</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , Cl <sup>-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , Fe, Al, Mn, Zn, Ni, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
Solutions concentrées provenant de la LIS de l'uranium – cénomanien	978 600 m <sup>3</sup> /an	pH = 1-2,8 U ≤ 0,1 g/m <sup>3</sup> <sup>226</sup> Ra = 50 000-90 000 Bq/m <sup>3</sup> TSD = 64-100 kg/m <sup>3</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , Cl <sup>-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , Fe, Al, Mn, Zn, Ni, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>

#### Bassins de décantation des résidus

Aucun.

#### Déblais de stériles

Aucun.

#### Surveillance de l'environnement

La surveillance de l'environnement dans la zone suit le programme approuvé par les autorités compétentes de l'administration publique et par les experts chargé du contrôle. Ce programme définit l'étendue, la fréquence et la méthodologie d'échantillonnage et le mode d'évaluation. Les travaux d'échantillonnage et d'analyse sont exécutés par l'entreprise DIAMO et des laboratoires extérieurs. Les résultats de la surveillance sont périodiquement évalués et utilisés pour des analyses de risque, des projets, la gestion des travaux de réaménagement et des études d'impact sur l'environnement. L'état de l'environnement des zones affectées par les activités de l'entreprise DIAMO est publié. Les principaux paramètres faisant l'objet de la surveillance sont :

- Eaux d'exhaure : pH, MEST, TSD, BCO<sub>5</sub>, CHCO<sub>5</sub>, hydrocarbures, N-NO<sub>3</sub>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub>, F<sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, N-NH<sub>4</sub>, Fe<sub>total</sub>, Zn, Ba, <sup>226</sup>Ra, Pb, U, Ni, chlore organique extractible fixé, P<sub>total</sub>, Be, Cd, As, Mn<sub>total</sub>, Ca, Mg, Cr<sub>total</sub>, <sup>232</sup>Th, <sup>230</sup>Th, <sup>210</sup>Pb, <sup>40</sup>K, activité alpha et bêta totale.
- Cours d'eau de surface : U, Ra, MEST, TSD, hydrocarbures, Zn, Ni, DBO<sub>5</sub>, CHCO, Na, Ca, K, Mg, F, Fe, Mn, Cl, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, acidité, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, SO<sub>4</sub>, pH.
- Eaux souterraines : surveillance de l'aquifère turonien et coniacien : pH, acidité, alcalinité, MEST, TSD, SO<sub>4</sub>, NH<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>, Cl<sup>-</sup>, F<sup>-</sup>, HCO<sub>3</sub>, Mg, Ca, Na, K, Al, Fe<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, Mn, U, Ra, Zn, Ni, NO<sub>2</sub>.

#### Coûts

Déclassement et réaménagement (1990-1998)	880 millions de CZK (25,1 millions d'USD)
Décontamination et réaménagement, pompage, traitement des eaux, surveillance, entretien (1999-2040)	35 120 millions de CZK (1 003,4 millions d'USD)
Total (1990-2040)	36 000 millions de CZK (1 028,6 millions d'USD)

## Usine de traitement chimique MAPE de Mydlovary

### Caractéristiques de l'installation

- Historique succinct : l'usine de traitement chimique de l'uranium a été en exploitation de 1962 à 1991. Le minerai provenant des gisements d'uranium de Okrouhla Radoun et de Příbram en Bohême occidentale y a été traité. Le volume total de minerai d'uranium traité a atteint 16,8 millions de tonnes. Les bassins de décantation des résidus couvrent 285 ha et renferment 35,8 millions de tonnes de résidus.
- Type d'activité : usine de traitement chimique de l'uranium et bassins de décantation des résidus. Procédé de lixiviation par voie acide.
- État actuel : l'usine de traitement est déclassée. La zone de l'usine est décontaminée et prête en vue de la vente. Les bassins de décantation des résidus sont en cours de réaménagement et de remise en état.

### Les problèmes environnementaux et leurs solutions

Eau des bassins de décantation des résidus : « déséquilibre » de l'eau dans les bassins de décantation des résidus après le processus de lixiviation du minerai.

Type d'eau	Quantité	Contaminants principaux et secondaires	
Eau des bassins de décantation des résidus	0 m <sup>3</sup> /an	pH = 4,94-7,7 U = 0,01-1,45 g/m <sup>3</sup> <sup>226</sup> Ra = 80-1 540 Bq/m <sup>3</sup> TSD = 6,0-20,0 kg/m <sup>3</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Mg, Mn, V
Eau de drainage	111 700 m <sup>3</sup> /an	pH = 6,9 U = 0,64 g/m <sup>3</sup> <sup>226</sup> Ra = 100 Bq/m <sup>3</sup> TSD = 9,0 kg/m <sup>3</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , Cl <sup>-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , Fe, Mn, Mg, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>

Les eaux sont traitées et rejetées dans la rivière Vltava.

### Bassins de décantation des résidus

Dénomination	Superficie (m <sup>2</sup> )	Volume déposé (m <sup>3</sup> )	État
K I	244 000	5 551 000	partiellement réaménagé
K II	766 200	10 342 000	non réaménagé
K III	337 400	4 354 000	partiellement réaménagé
K IV / C1Z	357 100	403 000	non réaménagé
K IV / C2	312 000	1 708 000	non réaménagé
K IV / D	357 600	661 000	non réaménagé
K IV / R	319 200	950 000	non réaménagé
K IV / C1F	233 500	0	non réaménagé

Les bassins de décantation des résidus sont en cours de remplissage et de couverture par des matériaux inertes avec réaménagement biologique. État visé : écosystème stable des forêts mixtes d'Europe centrale.

## Déblais de stériles

Aucun.

## Surveillance de l'environnement

La surveillance de l'environnement dans la zone suit le programme approuvé par les autorités compétentes de l'administration publique et par les experts chargé du contrôle. Ce programme définit l'étendue, la fréquence et la méthodologie d'échantillonnage et le mode d'évaluation. Les travaux d'échantillonnage et d'analyse sont exécutés par l'entreprise DIAMO et des laboratoires extérieurs. Les résultats de la surveillance sont périodiquement évalués et utilisés pour des analyses de risque, des projets, la gestion des travaux de réaménagement et des études d'impact sur l'environnement. L'état de l'environnement des zones affectées par les activités de l'entreprise DIAMO est publié. Les principaux paramètres faisant l'objet de la surveillance sont :

- Eaux traitées des bassins de décantation des résidus : TSD, MEST, SO<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>, U, Ra, NH<sub>4</sub>.
- Eaux souterraines : pH, NH<sub>4</sub>, Cl, NO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>, CHCO<sub>Cr</sub>, activité alpha et bêta, Ra, U, TSD, Cu, Zn, Cr, Pb, Ni, As, Cd, U, Al, Be, Mn, Fe, Ba, Na, K.
- Air : dépôt de poussières – U, Ra, activité volumique de Rn, concentration équivalente à l'équilibre du radon, apport instantané d'équivalent de dose de rayonnements gamma ; apport moyen d'équivalent de dose de rayonnement gamma, concentration de Rn du sol.
- Contamination des produits agricoles : U, Ra, Zn, Cu, Ni, Cd, Cr, Co, Pb, As, Mo, Hg, Mn.

## Coûts

Déclassement, décontamination et réaménagement des installations (1991-1998)	291,2 millions de CZK (8,3 millions d'USD)
Réaménagement et remise en état des bassins de décantation des résidus (1991-1998)	205,5 millions de CZK (5,9 millions d'USD)
Achèvement de la remise en état et du réaménagement des bassins de décantation des résidus (1991-2020)	2 533 millions de CZK (72,4 millions d'USD)
Traitement des eaux, surveillance, entretien (après 2020)	Non spécifiés
Total (1991-2020)	3 029,7 millions de CZK (86,6 millions d'USD)

## Conclusions

Un programme de repli de la production d'uranium est en cours de mise en œuvre depuis 1989 dans la République tchèque. Seule une mine souterraine et une usine de traitement chimique situées à Dolni Rozinka, sont actuellement en exploitation. La fermeture est prévue pour 2002. Les mines déjà fermées sont déclassées et réaménagées. Dans le cadre de la solution complexe adoptée pour la production d'uranium, les mesures prises pour d'anciens sites (« historiques ») sont révisées et des actions correctives sont menées. L'état de l'environnement sur les sites ayant subi les effets de l'extraction minière de l'uranium fait l'objet d'une surveillance et d'une évaluation systématiques. Le programme de repli de la production est exécuté sous la tutelle de l'État et les activités sont financées sur le budget de l'État de la République tchèque.

## Restauration de l'environnement des installations de production d'uranium dans la République tchèque



## • Roumanie •

### Politiques et réglementation des pouvoirs publics

Ces dernières années, la Roumanie s'est fixé pour objectif majeur d'adhérer à la Communauté européenne (CE). Elle s'efforce donc d'aligner sa réglementation nationale sur celle de la CE, tout en restructurant les activités liées aux recherches géologiques et à l'exploitation minière.

Dans le cadre de cette nouvelle démarche, des travaux de réaménagement de l'environnement sont en cours sur les sites où la production d'uranium a cessé ou a considérablement diminué.

Des activités telles que les levés géologiques, ainsi que la prospection, l'exploitation et le traitement de l'uranium, sont régies par les principales lois suivantes qui ont été adoptées au cours des dernières années :

- Loi N°111/1996 sur la sûreté de la gestion des activités nucléaires du 10 octobre 1996 modifiée par les Lois N°16 du 8 janvier 1998 et N°384 du 10 juillet 2001.
- Loi N°137/1995 sur la protection de l'environnement.

- Loi N°107/1996 sur l'eau.
- Spécifications techniques applicables à l'eau de boisson, STAS 1342-91.

Récemment, les normes spécifiques suivantes sont aussi entrées en vigueur :

- Décision du Gouvernement N°400/1996 relative à l'homologation des indicateurs techniques et économiques relatifs aux objectifs d'investissement visant les « Travaux écologiques et de protection de l'environnement dans les zones d'activités d'exploitation et de traitement des ressources géologiques sous l'égide de l'Administration autonome des métaux rares – Bucarest ».
- Décret N°15.2/1998 du Ministère du commerce et de l'industrie (MCI) relatif à l'homologation des normes méthodologiques visant la fermeture et la sauvegarde des mines.
- Décret N°1670/1998 du MCI portant création d'un groupe central chargé du Programme de fermeture des mines.
- Décret N°51/1997 relatif à la fermeture des mines.

Ces instruments viennent s'ajouter à des instruments antérieurs applicables en la matière, dont les suivants :

- Décret N°320/1975 du Comité d'État pour l'énergie nucléaire (CSEN) : Normes nationales de sûreté nucléaire applicables à l'extraction et au traitement de matières brutes nucléaires en liaison avec les activités de recherches géologiques.
- Décret N°133/1976 du CSEN : Normes nationales de sûreté nucléaire. Régime de travail en présence de sources de rayonnements nucléaires.

En outre, l'autorité nationale compétente en matière d'énergie nucléaire a lancé un projet visant à définir de nouvelles normes de radioprotection qui ont ramené la dose maximale admissible pour les personnes de 5 à 1 mSv.

En ce qui concerne les pratiques antérieures concernant les activités liées aux matières nucléaires, on note l'absence :

- De réglementation spécifique depuis l'origine de ces activités en Roumanie (de 1950 à 1975).
- De prise en considération de la protection de l'environnement qu'auraient exigée les recherches géologiques menées à l'aide de méthodes minières entre 1975 et 1989.
- De financement sur le budget national destiné au réaménagement de l'environnement au cours de la période 1990-1997.

### **Informations concernant certaines activités de réaménagement**

Les mesures spécifiques prises après 1980 pour protéger et réaménager l'environnement comprennent notamment :

- La mise en service de stations de traitement des eaux d'exhaure et industrielles radioactives à Lisava et à Ciudanovita (département du Banat), Crucea (département de Suceava), Feldioara (département de Feldioara).

- La mise en place, en 1995, de couvertures sur les wagons de chemin de fer utilisés pour transporter le minerai radioactif.
- L'enlèvement des tas de minerai radioactif à l'entrée des mines de Dobrei Nord, Dobrei Sud et Avram Iancu, ainsi que des tas situés à l'intérieur du périmètre du village de Barzava, dans le district d'Arad.
- L'enlèvement, en 1997, de tas relativement petits de minerai radioactif, situés sur quelques versants de stériles, et résultant de recherches géologiques entreprises spécialement aux alentours de Primatar, Bradu, Mehadia (Tulghes et Alba Iulia – département de Magurele), Ranusa et Valea Leucii (département de Bihor).

En 1994, on a entrepris de dresser un inventaire complet des zones où ont été menées des activités liées aux matières nucléaires et où il est nécessaire de procéder à des travaux de réaménagement.

En 1995, une étude de faisabilité intitulée « Travaux de protection et de réaménagement de l'environnement des zones affectées par des activités géologiques, l'exploitation et le traitement du minerai dans le cadre de l'Administration autonome des métaux rares » a été élaborée. Cette Administration est maintenant devenue la Compagnie nationale de l'uranium S.A. (CNU-SA). Le coût de cette activité a été estimé à un budget initial de 32,716 milliards de ROL, étalé sur trois ans. L'estimation a été actualisée en juin 1999 et s'élève à 194,79 milliards de ROL (soit environ 12,5 millions d'USD). Sur cette somme, environ 997 millions de ROL (65 000 USD) ont été consacrés aux documents d'exécution technique et aux travaux de construction jusqu'en mars 1999.

La CNU-SA a passé des contrats avec la CE dans le cadre des programmes d'aide à la reconstruction de l'économie (PHARE) dans le but d'obtenir un soutien pour les activités de réaménagement de l'environnement. Trois programmes sont en cours et le quatrième, qui doit être mis en œuvre dans le village de Barzava, sera précisé à l'avenir.

Le projet PHARE sur le réaménagement des zones affectées par l'extraction minière et le traitement du minerai dans les pays participant au projet PHARE représente un budget d'environ 100 000 EURO. Dans le cadre de ce projet, du matériel a été livré à la Roumanie en vue de l'évaluation des risques radiologiques. Du personnel roumain a été formé à l'utilisation de ce matériel.

Les projets en cours dans le cadre du projet *Remediation Concepts for the Uranium Mining Operations in CEEC*, (Concepts de dépollution applicable aux mines d'uranium dans les PECO) sont menés dans la mine Ciudanovita dans le département du Banat. Le coût de ces projets est d'environ 450 000 EURO, y compris la sauvegarde et le réaménagement des bassins de décantation des résidus radioactifs.

### **Avenir des projets de réaménagement**

D'après le programme modifié de la CNU-SA, les activités d'exploitation du minerai cesseront à Ciudanovita, Dobrei Nord, Dobrei Sud et Avram Iancu dans un proche avenir. Ces fermetures réduiront le risque de contamination de l'environnement et des eaux souterraines. De nouveaux règlements stipulent qu'en vue de la fermeture de mines de substances radioactives, le gouvernement est tenu de fournir des ressources financières à partir de 1999. De plus, le financement approuvé par la Décision du Gouvernement N°400/1996 pour des travaux écologiques sera assuré dans le cas des zones affectées par des recherches géologiques, l'exploitation minière et le traitement du minerai d'uranium.



Les principaux travaux de réaménagement de l'environnement comprennent :

- La présentation à long terme de quelque 130 décharges renfermant des matières radioactives.
- La décontamination de 20 zones comportant des stocks de minerai ou des postes de triage du minerai.
- La modernisation de trois stations de décontamination des eaux d'exhaure provenant de mines fermées.
- La fermeture à long terme d'un bassin de décantation des résidus de traitement du minerai d'uranium.
- Un système de surveillance à long terme sur les sites déclassés.

La réalisation de ce programme nécessitera un financement estimé à :

- Environ 20 millions d'USD pour le réaménagement et la décontamination des décharges.
- Environ 5 millions d'USD pour la fermeture du bassin de décantation des résidus radioactifs.

Ces estimations de coût ne comprennent pas les fonds nécessaires pour fermer les mines de Ciudanovita, Dobrei Nord, Dobrei Sud et Avram Iancu.

La Roumanie reconnaît l'importance de la collaboration entre la CNU-SA et les organes de la CE. Cette collaboration porte sur la fermeture, le déclassement et le réaménagement de l'environnement des zones affectées par l'industrie de l'uranium. Elle comporte le recours à l'expérience acquise, aux procédures et aux modèles disponibles actuellement et en usage dans les pays occidentaux. Le financement international revêt une très grande importance pour les travaux en matière d'environnement quand les moyens économiques en Roumanie sont limités pour mettre en œuvre de tels projets.

### **Déchets radioactifs issus de l'exploitation minière en souterrain de l'uranium**

Les activités de prospection et d'extraction ont généré des déchets sous forme de stériles faiblement contaminés (par les radionucléides naturels) et des minerais à faible teneur (0,02 à 0,05 % d'U). Ces types de minéraux sont stockés dans des verses sur le carreau des mines, comme suit :

- Zone d'Oravita-Banat : 21 verses.
- Zone de Baita-Avram Iancu, district de Bihor : 10 verses.
- Zone de Crucea-Botusana, district de Suceava : 30 verses.
- Zone de Tulgkes, zone de Neamt : 70 verses résultant de la prospection géologique, peu radioactives et d'un faible volume.
- District d'Arad (Milova, Ranusa) : 7 verses.
- Le volume total de ces verses est d'environ 5,5 millions de mètres cubes et leur superficie représente environ 140 ha.
- Il s'agit de déchets de faible activité.

Ces déchets ne renferment pas plus de 0,03 % d'U en équilibre avec les produits de filiation. Les verses servent à un stockage provisoire en attendant la réalisation d'un programme national de stabilisation, de sauvegarde et de réaménagement de l'environnement de ces décharges. Ce programme assurera soit le confinement sur place, soit le déplacement des résidus en vue d'une fermeture définitive.

Les eaux d'exhaure contaminées par des éléments radioactifs naturels (effluents liquides radioactifs) représentent un autre type de déchets. Les volumes d'eaux contaminées s'établissent comme suit :

- Zone d'Oravita : environ 4 500 m<sup>3</sup>/j.
- Zone de Baita-Bihor : environ 3 000 m<sup>3</sup>/j.
- Crucea-Botusana : environ 3 000 m<sup>3</sup>/j.

La teneur en uranium est inférieure à 3 mg/l, tandis que celle en radon ne dépasse pas 0,20 Bq/l. Ces eaux sont stockées dans des bassins de décantation, puis décontaminées par échange d'ions. L'uranium récupéré est envoyé à l'installation de traitement et l'eau traitée (« épurée » de son contenu radioactif) est rejetée dans les eaux de surface des rivières.

### **Déchets radioactifs issus du traitement du minerai d'uranium (usine de Feldioara)**

Les effluents radioactifs liquides comprennent les eaux et les boues contaminées, ayant les caractéristiques suivantes :

- 5 000 m<sup>3</sup>/j, avec un ratio solide/liquide de 1/3.
- La phase liquide (eau) a une teneur en uranium pouvant atteindre 5 à 7 mg/l, et en radium pouvant atteindre 0,5 Bq/l.
- Il s'agit de déchets de faible activité.

Les effluents liquides se déversent dans les bassins de décantation de Cetatua et de Mitelzop. La phase liquide est traitée par échange d'ions, puis recyclée dans les circuits de traitement de l'« atelier R » qui est toujours en exploitation et/ou rejetée dans la rivière Olt. Environ 4,3 millions de tonnes de déchets radioactifs solides (boues concentrées) sont stockés dans les bassins de décantation où ils s'accumulent au rythme de 120 000 t/a. Les matières stockées ont une activité radiologique globale d'environ 1 100 GBq. Le bassin de décantation a une superficie de 37 ha.

Les déchets radioactifs solides comprennent notamment de vieilles ferrailles, du bois et des matériaux céramiques. Leur stockage définitif est assuré sur une plate-forme qui a été construite entre les deux bassins de décantation des résidus (Cetatua et Mitelzop), où ils seront déposés par couches puis recouverts de pierres. La quantité totale de déchets stockés est de 16 600 t, réparties comme suit : 2 900 t de vieilles ferrailles, 13 000 t de bois ; 700 t de déchets divers.

Il s'agit de déchets de faible activité dont la contamination est stabilisée. Leur activité radiologique totale s'élève à environ 3,5 MBq.

## • Suède •

### Législation applicable

- Loi sur les activités nucléaires [SFS 1984:3].
- Loi sur la radioprotection du 19 mai 1988 [SFS 1988:220].
- Loi sur les mines de décembre 1991 [SFS 1991:45].
- Règlement sur l'environnement du 1er janvier 1999 [SFS 1998:808].

### Déclassement de la mine d'uranium de Ranstad

Au début des années 60, une mine d'uranium a été mise en exploitation à Ranstad dans la partie méridionale de la Suède, dans le cadre du programme électronucléaire suédois. L'uranium était extrait à partir de schiste alumineux du soubassement rocheux. L'autorisation relative à l'installation de Ranstad a expiré en 1984 et des discussions relatives à un réaménagement de la mine à ciel ouvert et des résidus ont débuté. Un projet de réaménagement a été lancé en janvier 1990 et la plus grande partie des travaux en la matière était achevée en 1992. À l'heure actuelle, l'une des principales questions qui se pose en ce qui concerne ce projet, est de réduire au minimum et de contrôler les effets sur l'environnement des produits de lixiviation des résidus.

### Politiques et réglementation des pouvoirs publics

Initialement, la société suédoise Studsvik AB était responsable de la planification du projet, de la sous-traitance et de l'exécution des travaux de réaménagement, de même que du contrôle de l'environnement. Depuis 1992, c'est la société AB Svafo, qui appartient à l'industrie électronucléaire suédoise, qui est en charge du réaménagement. Le financement du projet est régi par une loi qui stipule qu'une certaine fraction de la redevance perçue sur l'électricité d'origine nucléaire doit servir au réaménagement. Le coût total du réaménagement s'élève, d'après les calculs, à environ 150 millions de SEK.

Figure 1. Localisation du site de Ranstad en Suède



La Commission administrative du comté a énoncé les critères en matière d'environnement applicable à un milieu récepteur voisin, qui doivent être remplis avant d'achever le traitement du lixiviat. L'organisation en charge du projet est également tenue de présenter des rapports annuels sur les données hydrologiques et chimiques conformément à un programme prédéfini de contrôle de l'environnement.

### **Historique et réaménagement des résidus**

De 1965 à 1969, environ 1,5 million de tonnes de schistes alumineux ont été traitées et ont produit environ 215 tonnes d'uranium. Ce procédé a généré des résidus représentant un volume total d'environ un million de mètres cubes couvrant maintenant une superficie de 250 000 m<sup>2</sup>. Les résidus renferment une centaine de tonnes d'uranium.

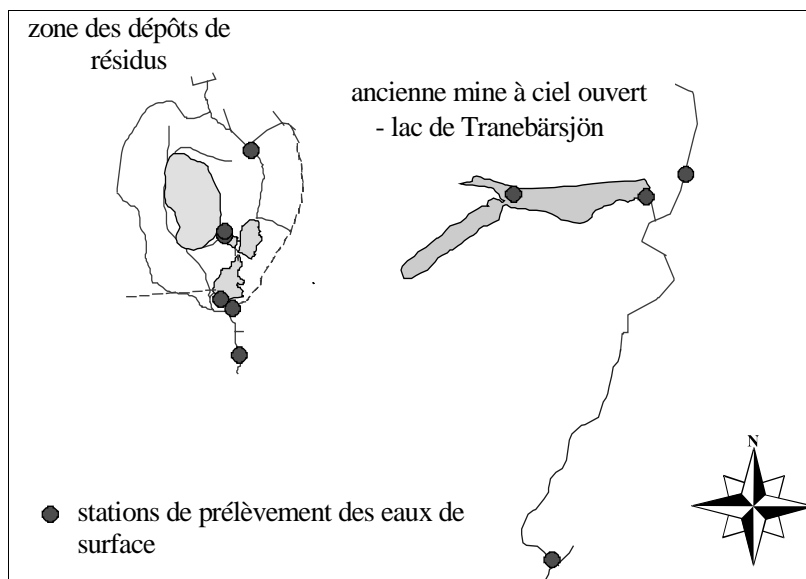
Entre 1990 et 1993, une couverture étanche a été mise en place sur les résidus et un bassin de décantation des résidus a été créé. La couverture a pour objet de réduire au minimum les infiltrations d'eau de pluie et la pénétration d'oxygène dans les résidus. La couverture est constituée par un système de différentes couches composées de mélanges de moraines, d'argile et de calcaire broyé.

Les polluants présents dans l'eau de lixiviation sont des métaux lourds, tels que du nickel et du zinc, et le lixiviat contient aussi de l'uranium. Le lixiviat renferme des concentrations relativement élevées de manganèse et de fer. La formation d'hydroxydes de fer et de manganèse sujets à floculation, colore la masse d'eau, mais il s'agit davantage d'un problème d'aspect que d'un problème écologique.

Dans le système de traitement chimique, le lixiviat collecté à partir du bassin de décantation des résidus est traité avec du carbonate de calcium. Le produit se présente sous forme de boue, constituée de composés métalliques relativement insolubles, que l'on laisse se déposer dans un réservoir avant que le lixiviat traité ne puisse être envoyé dans le milieu récepteur voisin.

Des mesures de l'activité radiologique sont exécutées périodiquement. Les analyses du <sup>226</sup>Ra dans le lixiviat indiquent une activité inférieure à 20 mBq/litre.

Figure 2. **Zone des dépôts de résidus et du lac occupant la mine à ciel ouvert à Ranstad**



### ***Historique et réaménagement de la mine à ciel ouvert.***

La mine à ciel ouvert a environ 2 000 m de long sur 100 à 200 m de large et une profondeur maximale de 15 m. Au cours de l'exploitation minière, l'eau souterraine d'infiltration a été évacuée par pompage et déversée dans un cours d'eau voisin. La moraine sus-jacente, le calcaire et la couche supérieure de schiste alumineux ont été retirés afin d'atteindre le corps minéralisé. Ces stériles ont été entassés autour de l'excavation, et ont en conséquence été exposés à l'action des intempéries pendant 30 ans.

La zone d'exploitation minière à ciel ouvert a été réaménagée entre 1990 et 1993. À cet effet, on a rempli partiellement l'excavation à l'aide des stériles issus de l'exploitation minière et on a laissé remonter le niveau des eaux souterraines. Un lac a ainsi été créé ayant une superficie libre de 250 000 m<sup>2</sup> et un volume de 1,3 million de m<sup>3</sup>. Lorsqu'il a été mis fin à l'évacuation des infiltrations d'eau souterraine, d'importants volumes de produits altérés ont été exposés à l'eau. Les conditions géochimiques de riches sont passées d'aérobies à anaérobies. L'altération chimique a touché les produits altérés et le lac est devenu un milieu véhiculant des espèces chimiques dissoutes et mobiles, par exemple des métaux lourds.

Conformément au programme de contrôle de l'environnement, des mesures des métaux lourds, de l'uranium et d'autres substances chimiques sont effectuées périodiquement. Les concentrations de métaux sont faibles à l'exception du nickel et de l'arsenic. Comme pour le lixiviat provenant du bassin de décantation des résidus, la formation d'hydroxydes de fer et de manganèse sujets à floculation colore la masse d'eau.

### ***Activités de réaménagement en cours et futures***

Les travaux les plus importants de réaménagement peuvent être considérés comme achevés. Le projet de réaménagement vise maintenant à poursuivre des activités de remise en état telles que la revégétalisation. Des efforts sont aussi consacrés au programme de contrôle de l'environnement en vue de suivre les effets sur l'environnement imputables au lac artificiel et au bassin de décantation des résidus.

En 1999, un projet a été entrepris afin de trouver des solutions de remplacement au système de traitement chimique du lixiviat. Différentes sortes de filtres naturels, tels que la tourbe, pour la sorption des polluants doivent être testés au cours des prochaines années.

## **• Ukraine •**

### **Politiques et réglementation des pouvoirs publics**

En Ukraine, la production d'uranium a commencé il y a plus de 50 ans. Jusqu'en 1992, le réaménagement des installations de production d'uranium était fondé sur la réglementation de l'ex-URSS, par exemple :

- La Déclaration du Conseil des ministres de l'URSS N°407 en date du 2 juin 1976, concernant le réaménagement des terres.
- Les Règles sanitaires applicables au démantèlement et à la sauvegarde des mines et installations de traitement de minerais radioactifs (SP-1324-75).
- Les Normes de sûreté radiologique NRB-76 et NRB 76/87.
- Les normes sanitaires applicables à la conception SNP-77.

À l'heure actuelle, les projets de réaménagement de l'environnement sont exécutés sur la base des nouvelles lois suivantes :

- Loi de l'Ukraine N°40/95 sur l'utilisation de l'énergie nucléaire et la sûreté radiologique du 8 février 1995, modifiée.
- Loi de l'Ukraine sur la gestion des déchets radioactifs du 30 juin 1995.
- Règles sanitaires applicables au démantèlement, à la sauvegarde et à la modification des activités d'extraction et de traitement des entreprises de production d'uranium (CP-LKP-91).

L'Ukraine a adopté également une Loi sur l'application minière et la concentration de l'uranium le 19 novembre 1997.

La politique gouvernementale repose sur les principes majeurs suivants :

- La priorité est donnée à la protection de la vie et de la santé des travailleurs et de la population, ainsi que de l'environnement, contre l'influence des déchets radioactifs.
- La politique nationale est mise en œuvre par l'intermédiaire d'un programme public à long terme.
- Le programme public est examiné et vérifié tous les trois ans.
- L'accumulation non contrôlée de déchets radioactifs est interdite.
- L'état exerce un contrôle sur les déchets radioactifs.
- Un isolement approprié des déchets radioactifs par rapport à l'environnement est assuré.
- Une collaboration internationale dans le domaine de la gestion des déchets radioactifs est instaurée.

### **Données rétrospectives sur les activités de réaménagement menées en Ukraine**

En Ukraine, les débuts de l'industrie de l'uranium sont liés à la série de gisements uranifères qui ont été découverts dans les régions de Kirovograd et de Dniépropéetrovsk il y a plus de 50 ans. On recense actuellement 20 gisements, dont quatre sont épuisés : ceux de Jeltoretchenskoïe et Pervomaïskoïe, exploités par la méthode classique en souterrain, ainsi que ceux de Bratskoïe et Devladovskoïe, exploités par lixiviation *in situ* (LIS). Deux gisements sont en exploitation : Vatoutinskoïe et Mitchourinskoïe, tous deux exploités par des méthodes en souterrain. Les autres gisements n'ont pas été exploités. Le minerai d'uranium est transporté des mines vers les installations de traitement situées à Jeltiye Vody et Dniprodzerjynsk.

## *Caractéristiques des sites de production d'uranium et des activités de réaménagement*

Le site de production d'uranium de Jeltiye Vody est le principal centre de traitement du minerai provenant de toutes les mines d'uranium d'Ukraine. Cette zone industrielle comprend une installation de traitement de l'uranium (usine hydrométallurgique), une usine d'acide sulfurique, les deux carrières à ciel ouvert de Gabaïevsky et Veseloïvanovsky, les deux mines Olkhovskaya et Novaya (les décharges de stériles de ces deux mines représentant 550 000 m<sup>3</sup>), ainsi que toute une série d'installations auxiliaires.

*La zone comprend trois bassins de décantation des résidus :*

1. Le bassin de décantation des résidus « KBZh » est situé sur le site de l'usine hydrométallurgique. Une mine de fer à ciel ouvert épuisée a été utilisée à cet effet. Le volume de l'excavation était presque entièrement rempli en 1987 et, après quelques travaux de rénovation, il n'est utilisé que pour des situations accidentelles. La superficie totale du bassin sous eau est de 55 ha. La quantité de résidus s'élève à 19,34 millions de tonnes et la teneur en uranium est de 0,007 %. Les émanations de <sup>222</sup>Rn à partir de la surface du bassin représentent de 0,05 à 3 Bq/m<sup>2</sup>s.
2. Le bassin de décantation des résidus « Sch » est situé à 1,5 km au sud de la ville et est utilisé depuis 1979. Le stockage a une superficie de 250 ha. La quantité de résidus s'élève à 34,54 millions de tonnes, la teneur en uranium étant de 0,007 %. Les émanations de <sup>222</sup>Rn à partir de la surface du bassin sont de l'ordre de 0,05 à 2 Bq/m<sup>2</sup>s.
3. Le bassin de décantation des résidus « R » est situé sur la rive gauche de la rivière Jeltaya. Il est utilisé depuis 1989 pour les résidus de minerai de fer provenant de l'installation de traitement de la mine Novaya. Ce bassin de décantation a une superficie de 230 ha.

L'ensemble de la zone à réaménager sur le site de Jeltiye Vody représente 968 ha, dont les 19,1 ha des décharges de déchets, les 17 ha de la zone foudroyée, les 50,6 ha des carrières et les 645,6 ha de bassins de décantation des résidus. À l'heure actuelle, les travaux de réaménagement exécutés sur le site de Jeltiye Vody ont porté sur la zone de la mine d'Olkhovskaya. La mine a été fermée en 1980 et des travaux de réaménagement se sont poursuivis de 1979 à 1982. Dans la mine d'uranium d'Olkhovskaya, le minerai de fer était exploité en tant que sous produit. Les travaux de réaménagement ont consisté à opérer un tri sélectif des stériles et à enlever la terre contaminée se trouvant sous les décharges. Au cours de ces travaux, on a utilisé 550 000 m<sup>3</sup> de roches dont une partie a été transportée dans l'usine hydrométallurgique pour y être traitée, une autre à servi à la construction des bassins de décantation des résidus et une autre encore a été déchargée dans la carrière à ciel ouvert la plus proche. La terre contaminée se trouvant sous les décharges a été enlevée jusqu'à une profondeur de 1 m et placée dans la même carrière. La superficie totale réaménagée est de 15 ha.

### *Réaménagement du bassin de décantation des résidus « KBZh »*

Les activités de réaménagement ont débuté sur ce site en 1991 et se poursuivent encore à cause de difficultés financières. À l'heure actuelle, le bassin de décantation des résidus est recouvert à 85 % d'une couche de limon de 0,4 m d'épaisseur qui empêche la diffusion des poussières de résidus sous l'effet du vent. Le bassin de décantation des résidus a une superficie de 55 ha. Le projet de réaménagement prévoit la mise en place d'une couverture multicouche. La structure de cette couverture comprendra 0,4 m de limon, 0,4 m de stériles, 3,5 m de limon et 0,3 m de terre végétale.

### *Site de production d'uranium d'Ingoulsky*

Le site d'Ingoulsky se trouve au sud de la ville de Kirovograd et comprend trois puits d'une profondeur atteignant 700 m. Le minerai extrait est trié pour séparer le minerai d'uranium (qui est transporté vers l'installation de traitement de Jeltiye Vody) du minerai marginal et des stériles. Ces deux derniers sont stockés dans les décharges représentant une la superficie totale de 44,7 ha et un volume de 2,5 millions de mètres cubes. La teneur en  $^{226}\text{Ra}$  est comprise entre 843 et 1 389 Bq/kg, tandis que les émanations de  $^{222}\text{Rn}$  sont de l'ordre de 0,85 à 1,28 Bq/m<sup>2</sup>s. Une fois traitées, les eaux d'exhaure sont rejetées. Le volume annuel d'eaux traitées s'élève à 2,6 millions de mètres cubes . Un projet de réaménagement a été élaboré en ce qui concerne les décharges se trouvant sur le site d'Ingoulsky. Le projet a pour objectif de rétablir le relief naturel du site, par exemple, un ravin. Il est prévu de transférer 500 000 m<sup>3</sup> de stériles dans le ravin et de les recouvrir par une structure appropriée. Les résultats des essais de modélisation montrent que les eaux souterraines seront contaminées au cours des mille prochaines années. Les émanations de radon à partir de la surface de la zone réaménagée ne dépasseront pas celles du fond naturel dans la région. La superficie réaménagée est de 7,4 ha.

### *Site de production d'uranium de Smolino*

Le site de Smolino se trouve à 3 km de la petite ville du même nom et comprend quatre puits d'une profondeur maximale de 500 m, qui sont identiques aux puits de mine d'Ingoulsky. On procède au tri du minerai extrait afin de séparer le minerai d'uranium d'intérêt commercial (qui est transporté vers l'installation de traitement de Jeltiye Vody) du minerai marginal et des stériles.

Le minerai marginal et les stériles sont stockés dans des décharges d'une superficie de 5,3 ha et d'un volume de 1,06 million de mètres cubes. Une fois traitées, les eaux d'exhaure sont rejetées. Le programme de surveillance radiologique montre l'existence d'une contamination radioactive sur le site de la mine et dans la zone des décharges.

### *Site de production d'uranium de Devladovskoïe*

Ce site se trouve à 30 km au sud-est de Jeltiye Vody. Le gisement de Devladovskoïe a été exploité de 1966 à 1983 par lixiviation *in situ* (LIS) en utilisant de l'acide sulfurique et de l'acide nitrique comme réactifs. Le site de l'installation couvre 12 ha ; le corps minéralisé s'étend sur 218 ha et la zone de stockage en souterrain occupe 120 ha. Au cours de l'exploitation minière, les eaux souterraines ont été contaminées par des solutions résiduelles à une profondeur de 80 m. La contamination s'étend sur 1,7 km dans la direction de l'écoulement et transversalement sur une largeur de 0,35 km. Les solutions résiduelles présentes dans l'aquifère de Boutchak par suite de l'exploitation minière, représentent un volume de 7,09 millions de mètres cubes. Le volume d'eau dans les bassins de sédimentation s'élève à 1 million de mètres cubes, tandis que le volume de limon contaminé atteint 40 000 m<sup>3</sup>. Le volume de terre végétale contaminée au voisinage des canalisations est de 50 000 m<sup>3</sup>.

Une importante contamination s'est produite parce que ce gisement a été le premier à être exploité par la méthode de la LIS et que la technique n'était pas convenablement conçue. Le réaménagement en surface a commencé en 1973 et a été achevé en 1987. La technique de réaménagement a notamment consisté à décaper la couche contaminée jusqu'à une profondeur de 0,25 m, à combler cette zone par de la terre végétale propre, à procéder à un chaulage et à un labourage du sol jusqu'à une profondeur de 0,5 m. Pour contrôler l'état du sous-sol, un réseau de puits de surveillance a été installé et continue de fonctionner.



### *Site de production d'uranium de Bratskoïe*

Ce site se trouve à 200 km au sud de Jeltiye Vody. À Bratskoïe, la mine d'uranium a été exploitée de 1971 à 1989 par la méthode de la LIS ; les réactifs utilisés étaient l'acide sulfurique et l'acide nitrique. Le corps minéralisé s'étend sur une superficie de 95,5 ha. Au cours de l'exploitation minière, les eaux souterraines ont été contaminées par les solutions résiduelles à une profondeur de 50 m. La contamination s'est étendue sur 3 km dans la direction de l'écoulement et transversalement sur une largeur de 1,2 km. Les solutions résiduelles présentes dans l'aquifère représentent un volume de 5,2 millions de mètres cubes. Pour la réaménagement en surface du site de Bratskoïe, on a eu recours à la même technologie que pour le site de Devladovskoïe.

### *Usine de traitement chimique de Pridneprovsky (« PChZ »)*

Le site de production d'uranium de Pridneprovsky se trouve dans la ville de Dniprodzerjynsk sur le fleuve Dniepr. Il s'agit de la deuxième installation de traitement existant en Ukraine qui a traité du minerai d'uranium de 1947 à 1991, date à partir de laquelle le « PChZ » a produit d'autres substances chimiques. Le site comprend une usine occupant 6 ha et le bassin de décantation des résidus « S » de 78 ha. L'unité I (en exploitation de 1968 à 1983) a produit un volume de 8,55 millions de tonnes, tandis que l'unité II (en exploitation de 1983 jusqu'à maintenant) a produit 4,4 millions de tonnes. Le site de rechargement « S » occupe 35 ha, tandis que le bassin de décantation des résidus « D » (en exploitation de 1957 à 1968) occupe une superficie 73 ha et renferme un volume de 22 millions de tonnes.

### **Installation faisant l'objet d'activités de réaménagement en cours ou prévues**

À l'heure actuelle, aucune activité de réaménagement n'est menée en Ukraine, à cause de problèmes économiques. Quelques sites font l'objet d'une surveillance. Toutefois, en vertu de la législation sur le « Programme d'État en vue d'améliorer la sûreté radiologique des installations de l'industrie nucléaire en Ukraine », le gouvernement a élaboré un nouveau programme qui comporte sept volets :

Le **Volet I** comprend les activités de réaménagement suivantes : parachever le réaménagement du bassin de décantation des résidus « KBZh », remettre en état les décharges de déchets sur les sites de production d'uranium d'Ingoulsky et de Smolino et restaurer le site de production d'uranium de « PChZ », notamment les bassins de décantation des résidus « D » et « S » de l'unité I.

Le **Volet II** prévoit la création d'un système de surveillance de l'environnement pour les sites des usines de traitement chimique de Jeltiye Vody et de Pridneprovsky. Le système prévu comprend des analyses de l'air, du sol, des eaux de surface et souterraines, des végétaux, etc.

Le **Volet III** inclut la mise à niveau du système de contrôle dosimétrique des personnels.

Le **Volet IV** concerne le plan technologique conçu pour réduire l'incidence des rayonnements sur le personnel et l'environnement dans les entreprises exploitantes.

Le **Volet V** comporte l'élaboration de nouveaux règlements sur la sûreté radiologique compte tenu de la situation de l'Ukraine et des règles internationales en vigueur.

Le *Volet VI* traite des questions liées à l'accident qui est survenu à la centrale nucléaire de Tchernobyl.

Le *Volet VII* concerne l'exécution d'une série de projets scientifiques et de recherche à l'appui de la réalisation de tous les objectifs du programme.

Le coût total du programme s'élève à 360 millions d'USD.

## • Viêt-nam •

### **Législation applicable :**

- Ordonnance sur la sûreté et le contrôle radiologiques du 25 juin 1996.
- Loi sur la protection de l'environnement du 27 décembre 1993.

L'ordonnance de 1996 nomme le Ministère de la science, de la technologie et de l'environnement responsable de la sûreté et du contrôle radiologiques. Ce dernier supervise la Commission à l'énergie atomique du Viêt-Nam ainsi que l'autorité de radioprotection et de sûreté nucléaire, responsable des autorisations et des inspections.

### **Traitement des déchets radioactifs liquides et solides dans les unités de traitement des minerais de monazite et d'uranium**

L'Institut de technologie des éléments radioactifs et des terres rares a deux unités-pilotes. La première, qui traite la monazite, a une capacité de 10 t par an. Elle a été mise en exploitation à titre expérimental depuis quatre ans et produit seulement des chlorures de terres rares. Comme il a été établi que la composition radioactive type du sable de monazite est 5 % de thorium et 0,25 % d'uranium, les déchets radioactifs tant liquides que solides présentent une forte activité.

La seconde unité est un laboratoire qui traite le minerai d'uranium. Des essais ont été entrepris dans cette unité pour recueillir des données technologiques sur le traitement de ce minerai.

Les résultats préliminaires relatifs à la gestion des déchets radioactifs dans ces unités-pilotes sont présentés ci-après.

### **Traitement des déchets radioactifs dans le laboratoire d'uranium**

La composition moyenne du minerai gréseux d'uranium de Nong Son est indiquée dans le tableau 1.

Tableau 1. **Composition chimique du minerai gréseux d'uranium de Nong Son**

Composition	Teneur (%)
SiO <sub>2</sub>	73,5600
CO <sub>2</sub>	0,6200
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,0850
BaO	0,0140
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,0030
U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	0,1400
Mo	0,0095
Pb	0,0220
Ni	0,0140
Cr	0,0930
Co	0,0260
Ga	0,0019
Cu	0,0018
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,0002
Autres	20,0000

La radioactivité des éléments présents dans les déchets liquides a été déterminée par spectrométrie gamma et est indiquée dans le tableau 2.

Tableau 2. **Radioactivité des déchets liquides avant traitement**

Élément	Radioactivité (Bq/l)	Limite admissible de radioactivité (Bq/l)
<sup>230</sup> Th	10 000	<1
<sup>210</sup> Pb	1 000	<3
<sup>226</sup> Ra	40	<2

La radioactivité des déchets solides a été établie comme étant de l'ordre de 40 000 à 50 000 Bq/l à l'aide de la même méthode. Le procédé de traitement s'est déroulé comme suit : un volume de 2,5 l de déchets liquides a été mélangé à 1 l de déchets solides ; le mélange a été agité pendant 10 min.

De l'oxyde de calcium (CaO) et du bichlorure de baryum (BaCl<sub>2</sub>) ont été utilisés comme additifs. Le premier avait pour but de corriger le pH de la solution. Lorsque le pH atteint de 7,5 à 10, la plupart des métaux lourds tels que le plomb, l'uranium et le thorium sont précipités. La masse de chaux consommée pour une tonne de minerai a été de 30 à 40 kg.

À l'issue de cette étape, la phase liquide est encore très radioactive à cause de la présence de <sup>228</sup>Ra. Le second additif (BaCl<sub>2</sub>) a été utilisé pour précipiter l'hydroxyde de baryum. Il se produit une coprécipitation de l'hydroxyde de baryum et de l'hydroxyde de radium. On a constaté que la consommation de chlorure de baryum par tonne de minerai est de l'ordre de 20 à 30 kg.

À l'issue de la seconde étape, la radioactivité de la phase liquide a été ramenée à une valeur inférieure à 1 Bq/l. C'est à dire en deçà des limites admissibles.

### Traitement des déchets radioactifs dans l'unité-pilote de monazite

La composition chimique de la monazite est indiquée dans le tableau 3.

Tableau 3. **Composition chimique de la monazite**

Composition	Teneur (%)
R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	57.20
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	25.80
ThO <sub>2</sub>	5.30
U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	0.26
Divers	11.50

Une installation-pilote a été construite pour extraire les chlorures de terres rares. Le traitement des déchets radioactifs est exposé ci-après.

*Traitement des déchets liquides*

La liqueur mère provenant de la centrifugeuse peut être collectée et acheminée vers le réservoir d'effluents pour y être neutralisée. Les limites proposées pour les effluents liquides traités sont indiquées dans le tableau 4.

Tableau 4. **Limites proposées pour les effluents traités**

Caractéristiques	Limite de tolérance
pH	Jusqu'à 9
Solides en suspension	100 mg/l
Phosphates	15 mg/l
Fluorures	15 mg/l
Rayonnement alpha brut	10 <sup>-7</sup> µCi/ml
<sup>226</sup> Ra	10 <sup>-7</sup> µCi/ml
Rayonnement bêta brut	10 <sup>-6</sup> µCi/ml
<sup>228</sup> Ra	3.10 <sup>-7</sup> µCi/ml
Pb	0,1 mg/l

*Traitement des déchets solides*

Le gâteau de plomb et de baryum est très radioactif à cause du <sup>228</sup>Ra qu'il contient et doit donc être évacué avec soin. Ce gâteau peut être additionné d'un mélange de ciment et de sable et immobilisé dans une matrice.

La composition des déchets solides est indiquée dans le tableau 5.

Tableau 5. **Composition des déchets solides**

Type de déchets solides	Composition	Teneur (%)
Thorium	ThO <sub>2</sub>	14.20
Déchets d'uranium (300 kg de déchets par tonne de minerai)	U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	0.71
	R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.20
	H <sub>2</sub> O	20.00
	Divers	35.50

Tableau 5. **Composition des déchets solides** (suite)

Type de déchets solides	Composition	Teneur (%)
Déchets de plomb et de radium (25-30 kg de déchets par tonne de minerai)	PbO	6.70
	U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	0.50
	ThO <sub>2</sub>	8.30
	R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.50
	H <sub>2</sub> O	15.00
	Divers	55.00

### Données globales sur les coûts de l'unité-pilote de monazite et du laboratoire de traitement des minerais d'uranium

- Type de site : Installation-pilote de monazite et Laboratoire de traitement des minerais d'uranium.
- Quantité totale de concentré de monazite traitée en cinq ans : 50 t.
- Quantité totale d'uranium produite en cinq ans : 200 kg.
- Quantité totale de résidus produite : 700 m<sup>3</sup>.
- Quantité totale de stériles produite : 70 t.
- Coût total du réaménagement : 31 000 USD.

#### Ventilation du coût total estimatif

N°	Poste	Taille	Coût (USD)
1.	Planification, ingénierie et procédure d'autorisation	–	6 000
2.	Bassins de décantation (m <sup>3</sup> )	700	10 000
3.	Tas de stériles (t)	100	3 000
4.	Site de l'installation de traitement (m <sup>2</sup> )	2 000	7 000
5.	Laboratoire de traitement technique des minerais d'uranium (m <sup>2</sup> )	2 000	5 000
6.	Installations minières	–	–
7.	Zones réaménagées (m <sup>2</sup> )	10 000	–
<b>Coût total du réaménagement</b>			<b>31 000</b>

### Conclusion

L'installation-pilote a traité 4 t de sable de monazite. On a desséché environ 1 t de gâteau de thorium en injectant de l'air comprimé dans la presse. Les déchets solides d'hydroxyde de thorium ont été collectés et stockés. Quelque 100 kg de déchets de plomb et de radium ont été additionnés de ciment et de sable et immobilisés dans la matrice. Tous les déchets radioactifs liquides ont été traités.

*Annexe 1*

**MEMBRES DU GROUPE DE TRAVAIL CONJOINT AEN/AIEA SUR LE  
RÉAMÉNAGEMENT DE L'ENVIRONNEMENT DES INSTALLATIONS MONDIALES DE  
PRODUCTION D'URANIUM**

<i>Allemagne</i>	Dr. F. BARTHEL	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hanovre
	M. J. BECKER	Uranerzbergbau GmbH, Cologne
	M. U. RIEGER	Federal Ministry of Economics and Technology, Berlin
<i>Argentine</i>	Mme E.N. ACHEN† M. G. ÁVILA CADENA M. A. CASTILLO	Comisión Nacional de Energía Atómica Unidad de Proyectos Especiales de Suministros Nucleares, Buenos Aires
<i>Australie</i>	M. A. McKAY	Australian Geological Survey Organisation (AGSO), Canberra
	M. P. WAGGITT	Office of the Supervising Scientist Darwin
<i>Brésil</i>	M. M. CAMARA DE MIRANDA FILHO M. D. AZEVEDO PY JUNIOR	Indústrias Nucleares do Brasil (INB) S.A., Rio de Janeiro
	M. H.M. FERNANDES Mme M. RAMALHO FRANKLIN	Institute of Radiation Protection and Dosimetry (IRD), Rio de Janeiro
<i>Canada</i>	M. P. DE	Low-Level Radioactive Waste, AECL, Gloucester, Ontario
<i>Égypte</i>	M. A.B. SALMAN	Autorité chargée des matières nucléaires (NMA), El Maadi, Le Caire
<i>Espagne</i>	M. A.R. LOPEZ ROMERO	Empresa Nacional del Uranio S.A. (ENUSA), Madrid
<i>États-Unis d'Amérique</i>	M. J. GEIDL ( <i>Président</i> ) M. L. SMITH ( <i>Président adjoint</i> ) M. L. SETLOW	Energy Information Administration, US Department of Energy, Washington U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Washington

<b><i>Finlande</i></b>	Dr. K. PUUSTINEN	Département de géologie économique, Service géologique de Finlande, Espoo
<b><i>France</i></b>	M. H. CATZ Mme V. MOULIN	Commissariat à l'énergie atomique, Centre d'Études de Saclay (CEA)
	Mme M-T. MÉNAGER	Commissariat à l'énergie atomique Direction de la stratégie et évaluation (DSE), Paris
	M. J-L. DAROUSSIN	Cogéma DT/MQSE, Vélizy
<b><i>Gabon</i></b>	M. P. TOUNGUI	Ministère des Mines, de l'énergie, du pétrole et des ressources hydrauliques, Libreville
<b><i>Hongrie</i></b>	M. G. ÉRDI-KRAUSZ	Geo Faber Corporation, Pécs
<b><i>Inde</i></b>	M. R. GUPTA	Uranium Corporation of India Singhnhum
<b><i>Iran, République islamique d'</i></b>	M. S.H. HOSSEINI	Organisation de l'énergie atomique d'Iran, Téhéran
<b><i>Japon</i></b>	M. H. MIYADA	Japan Nuclear Cycle Development Institute (JNC), Tokyo
<b><i>Jordanie</i></b>	Dr. S. AL-BASHIR	Jordan Phosphate Mines Company (JPMC), Amman
	Mr. G. AL-KILANI	Ministère de l'énergie et des ressources minérales, Amman
<b><i>Kazakhstan</i></b>	M. G.V. FYODOROV	Agence de l'énergie atomique du Kazakhstan, Almaty
<b><i>Ouzbékistan</i></b>	M. R.I. GOLDSHTEIN M. I.G. GORLOV M. N. ERKAEV	Entreprise géologique d'État "Kyzyltepageogogiya" Tachkent
<b><i>Pologne</i></b>	Mme Z. WACLAWEK	Agence nationale de l'énergie atomique, Varsovie
<b><i>Portugal</i></b>	M. L.S. LEMOS	Direcção Regional do Centro do Mínistério da Economia, Coimbra
	M. L. MARTINS	Instituto Geológico e Mineiro (IGM) Alfragide

<b><i>Portugal (suite)</i></b>	Dr. J.M. SANTOS OLIVEIRA	Instituto Geologico e Mineiro (IGM) San Mamede de Infesta
<b><i>République tchèque</i></b>	M. P. VOSTAREK	DIAMO s.p., Machova 201, 47127 Stráz pod Ralskem
<b><i>Roumanie</i></b>	M. T.F. IUHAS	Compagnie nationale de l'uranium, Agence nationale de l'énergie atomique, Bucarest
<b><i>Russie, Fédération de</i></b>	M. A.V. BOITSOV M. A.V. TARKHANOV	Institut pan-russe de technologie chimique, Ministère de l'énergie atomique, Moscou
<b><i>Suède</i></b>	Dr. I. LINDHOLM†  M. H. SVENSSON	Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Company, Stockholm  AB SVAFO and Kemakta Konsult AB Stockholm
<b><i>Ukraine</i></b>	M. A.C. BAKARZHIYEV  M. B.V. SUKHOVAROV- JORNOVYI	Entreprise géologique d'État "Kirovgeology", Kiev  Centre pour la science et la technologie dans le domaine énergétique, Kiev
<b><i>Viêt-Nam</i></b>	M. DO NGOC LIEN  Dr. B.X. TRINH	Division géologique chargée des éléments radioactifs et des terres rares, Hanoi  Dépt. de la géologie et des ressources minérales, Ministère de l'industrie, Hanoi
<b><i>Commission européenne</i></b>	M. J-M. HALLEMANS M. S. WEBSTER	Direction Générale XVII (Énergie) Énergie nucléaire, Bruxelles
<b><i>AIEA</i></b>	Dr. D.H. UNDERHILL ( <i>Secrétaire scientifique</i> )	Division du cycle du combustible nucléaire et de la technologie des déchets, Vienne/Autriche
<b><i>OECD/AEN</i></b>	Dr. I. VERA ( <i>Secrétaire scientifique</i> )	Division du développement de l'énergie nucléaire Paris/ France



*Annexe 2*

**LISTE DES ORGANISMES AYANT CONTRIBUÉ AU PRÉSENT RAPPORT**

<i>Allemagne</i>	Uranerzbergbau GmbH, Stüttgenweg 2, D-50935 Cologne
<i>Argentine</i>	Comisión Nacional de Energía Atómica, Unidad de Proyectos Especiales de Suministros Nucleares, Avenida del Libertador 8250, 1429 Buenos Aires
<i>Australie</i>	Office of the Supervising Scientist, Science Group – Environment Australia, GPO Box 787, Canberra, ACT 2601
<i>Brésil</i>	Institute of Radiation Protection and Dosimetry (IRD), Av. Salvador Allende s/n, Jacarepagua, Rio de Janeiro CEP 22780-160
<i>Canada</i>	Low-Level Radioactive Waste Management Office, 1595 Telesat Court, Suite 700, Gloucester, Ontario K1B 5R3
<i>Égypte</i>	Autorité chargée des matières nucléaires (NMA), P.O. Box 530, El Maadi
<i>Espagne</i>	ENUSA, Santiago Rusiñol 12, E-28040 Madrid
<i>États-Unis d'Amérique</i>	Energy Information Administration, Coal, Nuclear, Electric and Alternate Fuels (EI- 50), U.S. Department of Energy, Washington, D.C. 20585
<i>Finlande</i>	Geological Survey of Finland, P.O. Box 96, FIN-02151 ESPOO
<i>France</i>	Cogéma, DT/MQSE, Pôle Mines Chimie B.U. Mines, 2, rue Paul Dautier, BP 4, 78141 Vélizy Cédex
<i>Gabon</i>	Ministère des Mines, de l'Énergie, du Pétrole et des Ressources hydrauliques, B.P. 874 & 576, Libreville
<i>Hongrie</i>	Geo Faber Corporation, Esztergar L.19, H-7633 Pécs
<i>Japon</i>	Japan Nuclear Cycle Development Institute (JNC), 4-49, Matsumura, Tokaimura, Naka-gun, Ibaragi, Japan 319-1184
<i>Kazakhstan</i>	Agence de l'énergie atomique de la République du Kazakhstan, Chaikina str. 4, Almaty, 480020
<i>Ouzbékistan</i>	Entreprise géologique d'État "Kyzyltepageologia", 7a, Navoi Street, 700000 Tachkent
<i>République tchèque</i>	DIAMO s.p., Machova 201, 47127 Stráz pod Ralskem

<b><i>Roumanie</i></b>	Uranium National Company S.A., 68 Dionisie Lupu Street, Sector 1, Bucharest
<b><i>Russie, Fédération de</i></b>	All-Russian Institute of Chemical Technology, Ministry of Atomic Energy, 33 Kashirskoye Shosse, 115230 Moscow
<b><i>Suède</i></b>	AB SVAFO, P.O. Box 5898, S-102 40 Stockholm  Kemakta Konsult AB, P.O. Box 12655, S-112 93 Stockholm
<b><i>Ukraine</i></b>	Entreprise géologique d'État "Kirovgeology", 8 Kikvidze Str., Kiev 01103
<b><i>Viêt-Nam</i></b>	Division géologique chargée des éléments radioactifs et des terres rares, (ITRRE), 48 Lang Ha Street, Hanoi

## GLOSSAIRE

On trouvera ci-après un glossaire des termes qui peuvent être utilisés dans la description des activités de réaménagement de l'environnement dans le cas des sites de production d'uranium. Veuillez noter que ces définitions ne sont conçues que pour servir de guide et qu'elles peuvent ne pas correspondre aux définitions de ces termes ayant une valeur juridique, ou admises au plan mondial.

### **ALARA**

Sigle correspondant à l'expression anglaise « as low as reasonably achievable » (niveau le plus bas qu'il soit raisonnablement possible d'atteindre) : notion signifiant que la conception et l'utilisation des installations nucléaires et les pratiques qui leur liées, doivent être telles qu'elles garantissent que les expositions sont maintenues au niveau le plus bas qu'il soit raisonnablement possible d'atteindre compte tenu des facteurs techniques, économiques et sociaux.

### **Analyse (ou évaluation) des risques**

Analyse des risques liés à une technologie dans laquelle les événements possibles et leurs probabilités de survenue sont considérés conjointement avec leurs conséquences potentielles, la distribution de ces conséquences à l'intérieur de la (ou des) population(s) affectée(s), le facteur temps et les incertitudes entachant ces estimations.

### **Aquifère**

Unité géologique perméable saturée qui peut transmettre d'importantes quantités d'eau en présence des gradients hydrauliques habituels.

### **Arrêt d'exploitation**

Fermeture définitive ou temporaire d'une installation industrielle.

### **Assurance de la qualité**

Toutes les actions prévues et systématiques requises pour assurer avec une confiance suffisante qu'un élément, un procédé ou un service répondra à des exigences données de qualité, par exemple celles spécifiées dans une autorisation.

### **Atténuation naturelle**

Processus naturels de biodégradation, de dispersion, de dilution, de sorption, de volatilisation et/ou de stabilisation chimique et biologique des contaminants présents dans les sols et les eaux souterraines qui réduisent efficacement la toxicité, la mobilité ou le volume des contaminants à des niveaux qui ne portent pas atteinte à la santé humaine et à l'écosystème.

### **Bassin de décantation (ou de stockage) des résidus**

Structure dans laquelle les résidus notamment sous forme de pulpe liquide à densité de solide variable, sont déposés, et comprenant tous les éléments constitutifs, tels que les digues, revêtements et couches de remblais pour recouvrement.

### **Bassin de stockage à endiguement annulaire**

Bassin de confinement des résidus constitué par la construction d'une seule digue refermée sur elle-même, habituellement utilisé sur un terrain relativement plat. Le bassin peut être de forme carrée, rectangulaire, courbe ou irrégulière.

### **Caractérisation des déchets**

Détermination des propriétés physiques, chimiques et radiologiques des déchets (y compris des déchets radioactifs) afin d'établir s'il est nécessaire de prévoir un traitement correctif complémentaire, un conditionnement, ou s'ils se prêtent à la poursuite de la manipulation, du traitement, du stockage ou de l'évacuation.

### **Champ de puits de lixiviation *in situ* (LIS)**

Zone dans laquelle l'accès aux couches minéralisées et l'extraction de l'uranium est assuré par des puits destinés à l'injection d'une solution acide ou alcaline.

### **Contamination**

Présence de substances radioactives et chimiques toxiques dans le corps humain, dans ou sur un matériau, ou un autre lieu, où elles sont indésirables ou pourraient être nocives ; il peut s'agir aussi du processus donnant lieu à leur présence en de tels lieux.

### **Contrôle institutionnel**

Contrôle d'un site de stockage de déchets par une autorité ou institution désignée en vertu de la législation d'un pays. Ce contrôle peut être actif (surveillance, suivi, mesure corrective) ou passif (maîtrise des sols) et peut constituer un facteur intervenant dans la conception d'une installation nucléaire (dépôt à faible profondeur, par exemple).

### **Couverture**

Enveloppe ouvragée de la surface d'une décharge, d'un bassin de décantation des résidus ou d'un autre ouvrage. La couverture a pour objectif d'isoler l'objet de manière à éliminer ou à réduire à un niveau prescrit ses incidences préjudiciables sur l'environnement, autrement dit d'empêcher les entrées d'eau superficielle et l'érosion par les eaux de surface et le vent, de réduire les infiltrations d'eau et les émanations de radon, et éventuellement, de permettre l'utilisation des terrains.

### **Déchets radioactifs**

À des fins juridiques et réglementaires, les déchets radioactifs peuvent être définis comme des matières qui renferment ou sont contaminées par des radionucléides dont les concentrations ou les activités sont supérieures aux niveaux de libération fixés par l'organisme réglementaire, et pour lesquelles aucune utilisation n'est prévue. (Il convient de reconnaître qu'il s'agit d'une définition à des fins exclusivement réglementaires, et que des matières présentant des concentrations d'activité inférieures ou égales aux niveaux de libération sont radioactives d'un point de vue physique – encore que les risques radiologiques connexes soient considérés comme négligeables).

### **Déclassement**

Actions entreprises à la fin de la durée de vie utile d'une usine de traitement de l'uranium ou d'autres installations nucléaires consistant à les mettre hors service compte dûment tenu de la santé et de la sécurité des travailleurs et des personnes du public ainsi que de la protection de l'environnement. Le déclassement a pour objectif ultime la libération ou l'utilisation sans restrictions du site. La période de temps requise pour parvenir à cet objectif peut aller de quelques années à plusieurs siècles. Sous réserve des prescriptions juridiques et réglementaires d'un État Membre, une usine de traitement de l'uranium ou les parties qui sont conservées peuvent aussi être considérées comme déclassées si elles sont intégrées à une installation nouvelle ou existante, ou même si le site sur lequel elles se trouvent

reste soumis à un contrôle réglementaire ou institutionnel (autrement dit, libération conditionnelle ou usage restreint). Cette définition ne s'applique pas aux installations utilisées pour l'extraction minière de matières radioactives ou pour l'évacuation des résidus de traitement (fermeture).

### **Décontamination**

Élimination ou réduction totale ou partielle de la contamination radioactive ou chimique toxique par un procédé physique, chimique et/ou biologique volontaire.

### **Démantèlement**

Démontage et enlèvement de toute structure, tout système ou tout composant au cours du déclasserment. Le démantèlement peut être exécuté immédiatement après l'arrêt définitif d'une installation d'usine, ou il peut être différé.

### **Eaux souterraines**

Eau qui imprègne les couches géologiques de la terre, remplissant leurs pores et fissures (à l'exclusion de l'eau d'hydratation).

### **Effluent**

Tout gaz ou liquide (y compris les substances radioactives) rejeté en tant que déchet dans l'environnement

### **Enquête de point zéro**

Toutes les informations pertinentes telles que les données physiques, chimiques et biologiques, de même que culturelles et socio-économiques, qui décrivent les conditions existant avant la mise en place d'un projet industriel. Analogue à **Point zéro en matière d'environnement**.

### **Enrochement de protection**

Couche de grosses pierres irrégulières, de roche abattue ou de blocs préfabriqués espacés de façon aléatoire sur la face amont d'une digue ou sur les berges d'un canal en tant que protection contre l'action des vagues ou de la glace.

### **Étude de point zéro**

Étude en vue recueillir toutes les informations pertinentes telles que des données physiques, chimiques et biologiques, de même que les conditions culturelles et socio-économiques préalables à la mise au point d'un projet industriel.

### **Étude d'impact sur l'environnement**

Ensemble de documents consignnant les résultats d'une évaluation des incidences physiques, écologiques, culturelles et socio-économiques d'un projet d'installation ou d'établissement ou d'une nouvelle technologie.

### **Évaluation de la sûreté**

Comparaison des résultats des analyses de sûreté avec les critères d'acceptabilité, évaluation de cette comparaison et jugement porté en conséquence sur l'acceptabilité du système évalué.

### **Environnement**

Contexte physique, chimique et biologique d'un site. En plus de ces éléments naturels, les conditions culturelles et socio-économiques sont aussi fréquemment incluses.

## **Évacuation**

Mise en place des déchets dans une installation déterminée dûment approuvée (par exemple, dépôt à faible profondeur ou en formation géologique) sans intention de reprise. L'évacuation peut aussi inclure le rejet direct approuvé d'effluents (par exemple, effluents liquides et gazeux) dans l'environnement avec dispersion ultérieure.

## **Fermeture**

S'agissant des bassins de décantation des résidus, actions de caractère opérationnel, réglementaire et administratif requises pour réaménager un bassin de décantation des résidus pour le long terme, de telle sorte qu'il ne nécessite à l'avenir guère, voire pas, de surveillance ou d'entretien. Une installation de résidus se trouve placée en situation de fermeture définitive à la suite du recouvrement des résidus et de la cessation ou de l'achèvement des activités dans les éventuelles structures connexes. La même notion peut s'appliquer à des stériles issus de l'exploitation minière (y compris les roches improductives et les minerais extrêmement pauvres), aux résidus de lixiviation en tas et en mines souterraines et aux sites de lixiviation *in situ*.

## **Fermeture définitive**

État d'un bassin de décantation des résidus ou d'une installation d'évacuation à la fin de sa durée de vie utile, ou action visant à atteindre cet état. Une telle installation fait l'objet d'une fermeture définitive habituellement après l'achèvement de la mise en place des déchets, par la réalisation d'une couverture dans le cas d'une installation à faible profondeur, et par la cessation et l'achèvement des activités dans les éventuelles structures connexes.

## **Gestion des déchets radioactifs**

Ensemble des activités de caractère administratif et opérationnel, qu'impliquent la manipulation, le prétraitement, le traitement, le conditionnement, le stockage et l'évacuation des déchets provenant d'une installation nucléaire. Le transport est pris en compte.

## **Incidences sur l'environnement**

Effets physiques, écologiques, culturels et socio-économiques d'une installation (projetée, en exploitation, en cours de déclassement, par exemple un dépôt) ou d'une technologie.

## **Installation d'extraction et de traitement du minerai**

Installation qui traite des minerais renfermant des radionucléides de la famille de l'uranium ou du thorium.

- (a) Par installation d'extraction du minerai, on entend toute mine qui produit du minerai renfermant des radionucléides de la famille de l'uranium ou du thorium en quantités ou concentrations suffisantes pour justifier l'exploitation ou, lorsqu'ils se présentent conjointement avec d'autres substances faisant l'objet d'une extraction, en quantités ou concentrations qui exigent que des mesures de radioprotection soient prises, ainsi que le prescrit l'organisme réglementaire.
- (b) Par installation de traitement du minerai, on entend toute installation conçue pour traiter des minerais radioactifs provenant de mines, telles que définies au paragraphe (a), en vue de produire un concentré physique ou chimique.

### **Libération ou utilisation sans**

Décision de l'organisme réglementaire d'un pays ou d'un État autorisant la libération ou l'utilisation d'équipements, de matériaux et de bâtiments ou du site sans restrictions d'ordre radiologique.

### **Lixiviation en place (en gradins)**

Procédé par lequel la solution lixivante traverse par percolation un panneau de minerai situé à l'intérieur d'une mine souterraine de manière à ce que le produit de lixiviation puisse être recueilli en vue de la récupération des métaux de valeur.

### **Lixiviation en tas**

Procédé par lequel la solution lixivante traverse par percolation un tas de minerai préalablement extrait par des méthodes classiques et placé sur une surface imperméable de manière à ce que les jus de lixiviation puissent être recueillis en vue de la récupération des métaux de valeur.

### **Lixiviation *in situ***

L'exploitation par lixiviation *in situ* ou par dissolution est le procédé consistant à extraire l'uranium en injectant des solutions par l'intermédiaire de puits dans un corps minéralisé souterrain saturé d'eau et à récupérer les solutions par l'intermédiaire d'autres puits après qu'elles ont traversé la formation minéralisée et dissous le minerai d'uranium. La solution uranifère est ensuite remontée par pompage vers une installation en surface où l'uranium est récupéré à partir de la solution.

### **Mine ou usine traitant des minerais radioactifs**

Installation destinée à l'extraction, à la concentration ou au traitement de minerais contenant des radionucléides de la famille de l'uranium ou de la famille du thorium. Une mine traitant des minerais radioactifs est toute mine qui produit des minerais contenant des radionucléides de la famille de l'uranium ou de la famille du thorium, soit en quantités ou concentrations suffisantes pour justifier l'exploitation, soit, lorsqu'ils sont présent concurremment avec d'autres substances faisant l'objet d'une exploitation, en quantités ou concentrations qui exigent que des mesures de radioprotection soient prises, ainsi que le prescrit l'autorité réglementaire. Une usine de traitement des minerais radioactifs est toute installation destinée au traitement des minerais radioactifs provenant de mines, telles que définies plus haut, en vue de produire un concentré physique ou chimique.

### **Mise en service**

Processus pendant lequel les systèmes et composants des installations et activités, ayant été construits, sont rendus opérationnels et sont vérifiés afin de déterminer s'ils sont conformes à la conception et répondent aux critères de performance requis. La mise en service peut comporter des essais tant non nucléaires/non radioactifs que nucléaires/radioactifs. On utilise normalement les termes **choix du site**, **conception**, **construction**, **mise en service**, **exploitation** et **déclassement** pour désigner les six principaux stades de la durée de vie d'une installation autorisée et de la procédure d'autorisation qui y est liée. Dans les cas particuliers des installations d'évacuation des déchets, le **déclassement** est remplacé dans cette séquence par la fermeture.

### **Organisme ou autorité réglementaire**

Autorité ou ensemble d'autorités désignées par le gouvernement d'un État comme étant juridiquement habilitées à mener la procédure réglementaire, notamment à délivrer des permis ou des autorisations et ce faisant à réglementer le choix du site, la conception, la construction, la mise en service, l'exploitation, la fermeture, le déclassement et, si nécessaire, le contrôle institutionnel ultérieur des installations nucléaires ou d'aspects spécifiques de ces opérations. Une telle autorité peut être une organisation existante dans le domaine de la santé et de la sûreté liées au nucléaire, de la sûreté de l'exploitation minière ou de la protection de l'environnement, qui est dotée du pouvoir juridique approprié.

**Panache**

Distribution spatiale d'un rejet de matière en suspension dans l'air ou dans l'eau à mesure qu'il se disperse dans l'environnement.

**Réaménagement de l'environnement**

Décontamination et remise en état, conformément à des critères prédéfinis, des sites contaminés par des substances radioactives et/ou dangereuses au cours d'activités passées de production d'uranium.

**Résidus**

Partie restante d'un minerai métallifère constituée par de la roche finement broyée et des liquides de procédé après que le métal, l'uranium par exemple, a été extrait en totalité ou en partie.

**Résidus de traitement**

Résidus résultant du traitement du minerai en vue d'extraire les radionucléides de la famille de l'uranium ou de la famille du thorium, ou résidus analogues provenant du traitement de minerais à d'autres fins.

**Restauration des eaux souterraines**

Rétablissement de toutes les eaux souterraines affectées à leur niveau de la qualité avant exploitation minière en vue de leur permettre de retrouver leur utilisation avant exploitation minière, à l'aide de la meilleure technologie utilisable dans la pratique.

**Risque radiologique**

Produit de la probabilité d'exposition d'un individu à une dose particulière de rayonnement et de la probabilité d'un effet sur la santé imputable à cette dose.

**Stabilisation**

Dispositions prises en vue d'empêcher ou de retarder l'entraînement de résidus hors d'un bassin de stockage sous l'action de forces naturelles, par exemple, la pesanteur, l'érosion éolienne et hydraulique, et d'une manière qui n'exige guère, voire pas, de surveillance ou d'entretien.

**Surveillance**

Mesure en continu ou périodique de paramètres radiologiques ou autres en vue de déterminer l'état d'un système, ou de servir de base pour agir en vue de le contrôler. Le prélèvement d'échantillons peut intervenir en tant qu'étape préliminaire à la mesure. La surveillance peut être continue ou discontinue.

**Utilisation restreinte**

Utilisation d'une zone ou de matières, soumise à des restrictions imposées pour des raisons de radioprotection et de sûreté. Les restrictions d'usage sont habituellement exprimées sous la forme de l'interdiction de certaines activités (par exemple, la construction de maisons, la culture ou la récolte de denrées alimentaires particulières) ou de la prescription de procédures particulières (par exemple, les matériaux ne peuvent être recyclés ou réutilisés qu'à l'intérieur d'une installation.)

**Utilisation sans restriction**

Utilisation d'une zone ou de matières sans restrictions fondées sur des raisons radiologiques. Il peut y avoir d'autres restrictions afférentes à l'usage de la zone ou des matériaux, telles que des restrictions liées à la planification de l'utilisation des sols dans une zone, ou des restrictions liées aux propriétés chimiques d'une matière. Dans certaines situations, ces restrictions, pourraient, en plus de leur effet principalement recherché, avoir une influence indirecte sur la radioexposition, mais cet usage est classé comme étant sans restriction, à moins que la raison principale des restrictions ne soit radiologique. L'utilisation sans restriction s'entend par opposition à l'utilisation restreinte.



## ÉGALEMENT DISPONIBLE

### Publications de l'AEN d'intérêt général

*Rapport annuel 2000* (2001) *Gratuit : papier ou web.*

*AEN Infos*

ISSN 1605-959X

Abonnement annuel : € 37 US\$ 45 GBP 26 ¥ 4 800

*Brochure de l'AEN*

*Gratuit : papier ou web.*

*Le point sur l'évacuation des déchets radioactifs en formations géologiques* (2000)

ISBN 92-64-28425-7

Prix : € 20 US\$ 20 GBP 12 ¥ 2 050

*Programmes de gestion des déchets radioactifs des pays Membres de l'AEN/OCDE* (1998)

ISBN 92-64-26033-1

Prix : € 32 US\$ 33 GBP 20 ¥ 4 150

### Développement de l'énergie nucléaire

*Le cycle du combustible nucléaire – Aspects économiques, environnementaux et sociaux* (2002)

ISBN 92-64-29664-6

Prix : € 37 US\$ 33 GBP 23 ¥ 3 700

*Données de l'OCDE sur l'énergie nucléaire 2001* (2001)

Bilingue

ISBN 92-64-08707-9

Prix : € 20 US\$ 19 GBP 12 ¥ 1 900

*Méthodes d'évaluation des conséquences économiques des accidents nucléaires* (2000)

ISBN 92-64-27658-0

Prix : € 33 US\$ 31 GBP 19 ¥ 3 250

*Gestion de l'uranium appauvri* (2001)

ISBN 92-64-29525-9

Prix : € 20 US\$ 19 GBP 12 ¥ 1 900

*Réduction des coûts en capital des centrales nucléaires* (2000)

ISBN 92-64-27144-9

Prix : € 39 US\$ 38 GBP 24 ¥ 4 400

*Enseignement et formation dans le domaine nucléaire : faut-il s'inquiéter ?* (2000)

ISBN 92-64-28521-0

Prix : € 34 US\$ 31 GBP 19 ¥ 3 300

*Enseignement et formation dans le domaine nucléaire : faut-il s'inquiéter ?* (2000)

Un rapport de synthèse ISBN 92-64-28260-2

*Gratuit : papier ou web.*

*Uranium 1999: Ressources, production et demande* (2000)

ISBN 92-64-27198-8

Prix : €82 US\$ 77 GBP 48 ¥ 8 100

*L'énergie nucléaire dans une perspective de développement durable* (2000)

ISBN 92-64-28278-5

*Gratuit : papier ou web.*

*Actinide and Fission Product Partitioning and Transmutation* (2001)

Sixth Information Exchange Meeting, Madrid, Spain, 11-13 December 2000

ISBN 92-64-18466-X

*Gratuit : papier ou web.*

**Bon de commande au dos.**



LES ÉDITIONS DE L'OCDE, 2, rue André-Pascal, 75775 PARIS CEDEX 16  
IMPRIMÉ EN FRANCE  
(66 2002 04 2 P) ISBN 92-64-29509-7 – No. 52369 2002