



Aspects environnementaux de la production d'uranium



Rapport établi
conjointement par l'AEN
et l'AIEA



© OCDE, 1999

© Logiciel, 1987-1996, Acrobat, marque déposée d'ADOBE.

Tous droits du producteur et du propriétaire de ce produit sont réservés. L'OCDE autorise la reproduction d'un seul exemplaire de ce programme pour usage personnel et non commercial uniquement. Sauf autorisation, la duplication, la location, le prêt, l'utilisation de ce produit pour exécution publique sont interdits. Ce programme, les données y afférentes et d'autres éléments doivent donc être traités comme toute autre documentation sur laquelle s'exerce la protection par le droit d'auteur.

Les demandes sont à adresser au :

Chef du Service des Publications,
Service des Publications de l'OCDE,
2, rue André-Pascal,
75775 Paris Cedex 16, France.

ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX DE LA PRODUCTION D'URANIUM

RAPPORT ÉTABLI CONJOINTEMENT PAR
L'AGENCE DE L'OCDE POUR L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE
ET
L'AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE

AGENCE POUR L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE
ORGANISATION DE COOPÉRATION ET DE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUES

ORGANISATION DE COOPÉRATION ET DE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUES

En vertu de l'article 1^{er} 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) et la Corée (12 décembre 1996). 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^{er} 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 groupe aujourd'hui tous les pays Membres de l'OCDE, à l'exception de la Nouvelle-Zélande et de la Pologne. La Commission des Communautés européennes participe à ses travaux.

L'AEN a pour principal objectif de promouvoir la coopération entre les gouvernements de ses pays participants pour le développement de l'énergie nucléaire en tant que source d'énergie sûre, acceptable du point de vue de l'environnement, et économique.

Pour atteindre cet objectif, l'AEN :

- *encourage l'harmonisation des politiques et pratiques réglementaires notamment en ce qui concerne la sûreté des installations nucléaires, la protection de l'homme contre les rayonnements ionisants et la préservation de l'environnement, la gestion des déchets radioactifs, ainsi que la responsabilité civile et l'assurance en matière nucléaire;*
- *évalue la contribution de l'électronucléaire aux approvisionnements en énergie, en examinant régulièrement les aspects économiques et techniques de la croissance de l'énergie nucléaire et en établissant des prévisions concernant l'offre et la demande de services pour les différentes phases du cycle du combustible nucléaire;*
- *développe les échanges d'information scientifiques et techniques notamment par l'intermédiaire de services communs;*
- *met sur pied des programmes internationaux de recherche et développement, et des entreprises communes.*

Pour ces activités, ainsi que pour d'autres travaux connexes, l'AEN collabore étroitement avec l'Agence Internationale de l'Énergie Atomique de Vienne, avec laquelle elle a conclu un Accord de coopération, ainsi qu'avec d'autres organisations internationales opérant dans le domaine nucléaire.

Also available in English under the title:

ENVIRONMENTAL ACTIVITIES OF URANIUM MINING AND MILLING

© OCDE 1999

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, or CCC Online: <http://www.copyright.com/>. Toute autre demande d'autorisation de reproduction 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.

ORGANISATION DE COOPÉRATION ET DE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUES

En vertu de l'article 1^{er} 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) et la Corée (12 décembre 1996). 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^{er} 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 groupe aujourd'hui tous les pays Membres de l'OCDE, à l'exception de la Nouvelle-Zélande et de la Pologne. La Commission des Communautés européennes participe à ses travaux.

L'AEN a pour principal objectif de promouvoir la coopération entre les gouvernements de ses pays participants pour le développement de l'énergie nucléaire en tant que source d'énergie sûre, acceptable du point de vue de l'environnement et économique.

Pour atteindre cet objectif, l'AEN :

- encourage l'harmonisation des politiques et pratiques réglementaires notamment en ce qui concerne la sûreté des installations nucléaires, la protection de l'homme contre les rayonnements ionisants et la préservation de l'environnement, la gestion des déchets radioactifs, ainsi que la responsabilité civile et l'assurance en matière nucléaire ;
- évalue la contribution de l'électronucléaire aux approvisionnements en énergie, en examinant régulièrement les aspects économiques et techniques de la croissance de l'énergie nucléaire et en établissant des prévisions concernant l'offre et la demande de services pour les différentes phases du cycle du combustible nucléaire ;
- développe les échanges d'information scientifiques et techniques notamment par l'intermédiaire de services communs ;
- met sur pied des programmes internationaux de recherche et développement, et des entreprises communes.

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

© OCDE 1999

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 soixante, l'Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire (AEN) et l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) rédigent conjointement, avec la collaboration de leurs pays et États 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. La dix septième édition du « Livre rouge » est parue en 1998.

En 1996, le Groupe conjoint AEN/AIEA sur l'uranium, qui prépare le « Livre rouge », a créé le « Groupe de travail sur les aspects environnementaux de la production d'uranium ». La paternité de cette initiative revient à la ministre suédoise de l'Environnement, Mme Anna Lindh qui, appuyée par l'AIEA et l'AEN, souhaitait encourager le Groupe conjoint AEN/AIEA sur l'uranium à élargir son mandat aux effets environnementaux de l'extraction et du traitement de l'uranium et aux technologies de protection de l'environnement propres à ces activités.

Afin d'avoir une vue d'ensemble sur cette question, le Groupe de travail sur les aspects environnementaux de la production d'uranium a soumis un questionnaire aux pays et États Membres producteurs d'uranium sur leurs activités et leurs intérêts dans ce domaine. Il a également examiné les programmes connexes de l'AIEA et de l'AEN. Fondé sur les résultats de cette enquête, le rapport intitulé « Aspects environnementaux de la production d'uranium » a été présenté au Groupe conjoint AEN/AIEA sur l'uranium en automne 1997. Après avoir examiné ce rapport, le Groupe conjoint AEN/AIEA sur l'uranium a conclu qu'il présentait suffisamment d'intérêt pour être publié en complément à la dix-septième édition du Livre rouge.

Le présent rapport ne prétend pas fournir un panorama complet des problèmes d'environnement qui se posent dans ce secteur dans tous les pays. Étant donné l'ampleur des questions d'environnement et de sûreté dans les activités d'extraction et de traitement de l'uranium, les pays ont été invités à n'évoquer, dans leurs réponses au questionnaire, que les aspects les plus dignes d'intérêt. Aussi le contenu de ce rapport se limite-t-il aux activités jugées importantes par les pays participants.

Les opinions exprimées dans ce rapport ne reflètent pas nécessairement le point de vue des pays Membres ou organisations internationales. Le rapport est publié sous la responsabilité du Secrétaire général de l'OCDE.

Remerciements

Le Groupe de travail sur les aspects environnementaux de la production d'uranium et le Groupe conjoint AEN/AIEA sur l'uranium remercient tous les organismes (voir annexe 4) qui ont collaboré au présent rapport en répondant au questionnaire qui leur a été adressé.

TABLE DES MATIÈRES

PRÉFACE.....	3
EXPOSÉ DE SYNTHÈSE.....	7
I. INTRODUCTION.....	9
II. ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX DE L'EXTRACTION ET DU TRAITEMENT DE L'URANIUM.....	11
III. ACTIVITÉS DE L'AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE ET DE L'AGENCE DE L'OCDE POUR L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE.....	33
IV. SYNTHÈSE DES THÈMES ABORDÉS DANS LES RAPPORTS NATIONAUX.....	35
V. RAPPORTS NATIONAUX.....	45
Afrique du Sud.....	45
Allemagne.....	50
Argentine.....	56
Australie.....	59
Brésil.....	69
Bulgarie.....	78
Canada.....	79
Chine.....	96
Espagne.....	98
Estonie.....	103
États-Unis.....	104
Fédération de Russie.....	106
Finlande.....	110
France.....	112
Gabon.....	118
Hongrie.....	128
Inde.....	129
Japon.....	130
Jordanie.....	131
Kazakstan.....	131
Namibie.....	133
Niger.....	135
Ouzbékistan.....	141
Portugal.....	147
République tchèque.....	148
Roumanie.....	155

Slovénie.....	156
Suède.....	156
Ukraine.....	160

ANNEXES

Annexe 1. Évaluation des incidences d'un centre d'extraction et de traitement de l'uranium présentée à titre d'exemple	170
Annexe 2. Activités et publications de l'AIEA relatives aux aspects environnementaux de la production d'uranium.....	175
Annexe 3. Membres du Groupe conjoint AEN/AIEA sur l'uranium.....	182
Annexe 4. Liste des organismes ayant contribué au présent rapport.....	187

EXPOSÉ DE SYNTHÈSE

Le présent rapport intitulé « Aspects environnementaux de la production d'uranium » offre un panorama des activités environnementales du secteur de la production de l'uranium. L'éventail des activités et des sujets qui y sont abordés s'appuie sur les réponses apportées par 29 pays à l'enquête et sur un examen des travaux menés dans ce domaine par l'Agence internationale de l'énergie atomique et l'Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire. Ce rapport fait aussi le tour des centres d'intérêt des spécialistes en la matière, notamment l'évaluation des incidences sur l'environnement, les rejets dans l'air et l'eau, le milieu de travail, la sûreté radiologique, le traitement et le stockage des déchets, le démantèlement des mines et des usines, le réaménagement des sites et la réglementation de ces activités. Il reflète la prise de conscience de la nécessité de protéger l'environnement, à laquelle on assiste dans tous les pays. Plusieurs pays ont lancé, voilà quelques années, de vastes programmes de décontamination des mines et usines fermées. Beaucoup de ces sites, en particulier les plus anciens, ont été mis en service, exploités et fermés à une époque où l'on connaissait mal leurs effets sur l'environnement, dont on se souciait guère d'ailleurs. À présent, la planification et la réalisation des opérations de démantèlement des mines et des usines d'uranium ainsi que l'assainissement et le réaménagement des sites sont une préoccupation quasi universelle. La plupart des pays ayant produit de l'uranium ont fermé, ou ferment, des mines et des usines. Le présent rapport aborde plusieurs projets de fermeture de mines et d'usines.

Les responsables des nouveaux projets sont aujourd'hui tenus de réaliser et de soumettre aux autorités réglementaires une étude d'impact sur l'environnement. Cette étude contient normalement un planning détaillé des activités sur toute la durée de vie du projet et traite des aspects pertinents en matière de sûreté et d'environnement. Les autorités compétentes examinent attentivement le planning et l'évaluation avant de prendre la décision d'autoriser – ou d'interdire – l'exécution du nouveau projet. Le processus d'évaluation environnementale inclut parfois des auditions publiques qui permettent de débattre des répercussions socio-économiques et donnent la parole aux parties concernées par le projet. On évoquera à ce sujet dans ce rapport des projets australiens et canadiens subordonnés à la présentation d'une étude d'impact sur l'environnement.

Les mesures prises pour limiter les rejets dans l'air et l'eau et les nouvelles règles de radioprotection du personnel et de la population sont décrites. Connues sous le nom de « Normes fondamentales de sûreté », ces mesures deviennent de plus en plus sévères pour garantir une protection radiologique adéquate. La nouvelle « Convention commune sur la sûreté de la gestion du combustible usé et sur la sûreté de la gestion des déchets radioactifs » devrait s'appliquer à l'avenir aux déchets produits lors de l'extraction et du traitement de l'uranium. De nouvelles technologies telles que « l'extraction à distance » permettent désormais d'extraire des minerais à forte teneur situés à grande profondeur au Canada. Grâce à ce système, les mineurs abattent le minerai sans avoir à pénétrer dans la zone minéralisée. Par ailleurs, les technologies utilisées pour la fermeture des mines et des usines se perfectionnent, de même que les méthodes de confinement à long terme des résidus d'extraction et de traitement.

L'énergie nucléaire contribue largement au développement durable, car elle ne produit pas de gaz à effet de serre et n'a qu'un effet réduit sur l'environnement. Depuis plusieurs décennies, l'industrie de l'extraction et du traitement de l'uranium progresse tant sur le plan de l'efficacité que des incidences de ses activités sur les personnes et l'environnement naturel en général. Cette amélioration concerne non seulement les incidences à court terme mais les effets à long terme des déchets. Il existe suffisamment de ressources connues en uranium pour produire de l'énergie nucléaire durant de nombreuses années sans compromettre les besoins des générations futures. Cela ne sera possible, cependant, que si les responsables des projets de production de l'uranium continuent d'organiser, d'exploiter et de fermer leurs installations de façon responsable, afin d'en réduire au minimum les impacts sur la santé et l'environnement.

I. INTRODUCTION

On se soucie de plus en plus des incidences sur l'environnement de l'extraction et du traitement des matières premières servant à produire de l'énergie. Aussi redouble-t-on d'efforts pour soumettre les procédés technologiques susceptibles de contribuer au développement durable à des évaluations intégrées.

Le seul usage civil à grande échelle de l'uranium est la production de combustible nucléaire. Il existe suffisamment de ressources connues en uranium pour produire de l'électricité nucléaire durant de nombreuses années sans compromettre les besoins des générations futures. Cependant, pour que cette industrie réponde aux critères du développement durable, il appartient aux gestionnaires et propriétaires d'organiser, d'exploiter et de fermer leurs installations de production d'uranium de façon responsable, afin de réduire au minimum les impacts sur la santé et l'environnement.

Dans le cas de l'extraction et du traitement de l'uranium, les questions d'environnement prennent de l'importance depuis quelques décennies du fait de changements majeurs intervenus dans cette industrie. Ces changements englobent la fermeture récente d'un grand nombre de centres de production d'uranium, les exigences de plus en plus sévères auxquelles doivent répondre les nouvelles installations soumises dans de nombreux pays à des autorisations environnementales, ainsi que les mesures de restauration et de réaménagement envisagées pour de nombreux sites anciens qui ont été abandonnés à une époque où les dispositions relatives au démantèlement et au réaménagement des sites étaient insuffisantes.

Ce rapport donne une vue d'ensemble sur les activités environnementales liées à la production d'uranium. L'éventail d'activités et de préoccupations examiné découle des réponses apportées par 29 pays au questionnaire et d'une revue des travaux menés dans ce domaine par l'Agence internationale de l'énergie atomique et l'Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire. Le rapport traite également des questions d'environnement et de sûreté que posent la fermeture et le réaménagement des sites désaffectés, l'exploitation, la surveillance et la réglementation des sites en activité, ainsi que la planification, et la délivrance de permis et autorisations pour les nouvelles installations.

Ce rapport comprend cinq sections principales : une introduction, un aperçu des questions d'environnement et de radioprotection propres à l'extraction et au traitement de l'uranium, une liste des activités de l'AIEA et de l'AEN dans ce domaine, un résumé des thèmes abordés par les pays et les rapports nationaux. La section consacrée à la protection de l'environnement et à la sûreté radiologique (Section II) contient une récapitulation des incidences radiologiques et non radiologiques et des mesures en vigueur destinées à protéger efficacement le personnel, la population et l'environnement, une liste des normes internationales pertinentes et un panorama des aspects techniques et des rejets spécifiques relatifs à l'extraction et au traitement de l'uranium. Cette section s'achève par un survol des tendances mondiales des activités environnementales liées à l'uranium et de leurs implications sur le développement durable. Une liste des activités les plus représentatives menées dans ce domaine par l'AIEA et l'AEN est fournie à la Section III. À côté des projets de coopération, cette section mentionne les principales publications récentes de ces deux organisations internationales. L'annexe 2 du présent rapport, qui contient une liste plus fournie des activités et des publications de l'AIEA, vient compléter

cette section. La Section IV résume les principales activités évoquées par les pays, regroupées dans les rubriques suivantes : études d'impact sur l'environnement, contrôle des rejets, sûreté radiologique, démantèlement et réaménagement des sites, réglementation et divers.

Les rapports nationaux (Section V) contiennent les informations relatives aux questions d'environnement qu'ont fournies 12 pays Membres de l'OCDE et 17 pays non membres. Ces informations varient d'un pays à l'autre quant à leur portée et leur niveau de détail, et ni le format ni le style des rapports nationaux n'ont été harmonisés.

II. ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX DE L'EXTRACTION ET DU TRAITEMENT DE L'URANIUM¹

L'environnement se compose de systèmes en interaction, l'environnement biotique, la faune et la flore, de l'environnement abiotique, l'atmosphère, la terre et l'eau, et des éléments sociaux et culturels. On appelle impacts des effets qui altèrent le système existant de façon temporaire ou permanente. La définition et la mesure de l'impact dépend beaucoup de la localisation, du pays et des facteurs sociaux et économiques.

La figure 1 illustre le flux de matières et de déchets d'une installation type. Chaque installation de production consomme des matières premières, des ressources (énergie, eau, sol) et des réactifs. Elle génère également des déchets, sous la forme de rejets dans l'environnement ou d'effluents dans l'air, l'eau et le sol. Certains de ces déchets, par exemple les résidus de traitement, sont habituellement collectés et stockés dans des structures ouvragées ou des zones contrôlées. Ces rejets radioactifs et autres peuvent avoir des effets sur les êtres humains (le personnel et le public en général) et d'autres organismes vivants, ainsi que sur le milieu physique en altérant la qualité de l'eau, des sédiments ou de l'air. La longue durée de vie de certains radionucléides libérés au cours du cycle du combustible nucléaire oblige à tenir compte de la concentration et de l'accumulation biologique dans toutes les chaînes trophiques, le cas échéant, lors de l'évaluation des incidences sur l'environnement.

L'extraction et le traitement de minerais bouleversent les terrains situés en surface et risquent d'affecter les masses d'eau superficielles et souterraines. Par conséquent, les incidences sur l'environnement de ces opérations sont potentiellement plus étendues et plus diverses que celles des autres étapes du cycle du combustible nucléaire (à savoir la conversion, l'enrichissement, la fabrication et le retraitement du combustible, etc.). L'annexe 1 fournit l'exemple d'une évaluation des incidences d'un centre d'extraction et de traitement de l'uranium. Pour obtenir des informations supplémentaires sur les installations, y compris des données sur les rejets dans l'environnement, le lecteur pourra consulter la base de données du projet interinstitutions DECADES (bases de données et méthodologies d'évaluation comparative de diverses sources d'énergie pour la production d'électricité) à l'AIEA. Plusieurs rapports décrivent également l'effet de l'ensemble du cycle du combustible nucléaire sur l'environnement [1,2,3,4,5]. L'analyse de la sûreté nucléaire peut être utilisée dans les études d'impact sur l'environnement du cycle du combustible nucléaire qui traitent des accidents. Le présent rapport est axé sur le fonctionnement normal des installations de production de l'uranium et n'aborde que brièvement les accidents.

1. Une grande partie des informations reproduites dans cette section sont tirées d'un rapport sur les aspects sanitaires et environnementaux des installations du cycle du combustible nucléaire, publié en 1996 par l'AIEA et intitulé « *Health and Environmental Aspects of Nuclear Fuel Cycle Facilities* », IAEA-TECDOC-918.

Panorama des incidences radiologiques

Dans les conditions normales d'exploitation des installations de production d'uranium, de petites quantités de matières radioactives peuvent être libérées dans l'environnement et avoir une incidence radiologique sur le personnel, les populations et l'environnement.

Les incidences radiologiques du cycle du combustible nucléaire sur l'homme s'expriment en doses. Les doses reçues par le public peuvent être tirées d'une analyse des voies d'exposition. La figure 2 représente un ensemble de voies d'exposition utilisé couramment pour ces calculs. Pour calculer ces doses, il faut connaître le terme source des voies de transfert dans la chaîne alimentaire humaine et les paramètres de transfert entre chaque compartiment de cette chaîne alimentaire. Par contre, les doses reçues par le personnel sont généralement estimées à l'aide de mesures directes plutôt que par modélisation. Des organisations internationales telles que le Comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants (UNSCEAR) ont largement participé à l'effort systématique de collecte, d'analyse et de présentation des informations dans ce domaine. Le rapport de l'UNSCEAR [6] paru en 1993 fournit des informations sur l'analyse des incidences radiologiques. Dans son rapport présenté en 1993 à l'Assemblée générale des Nations Unies, l'UNSCEAR a évalué les doses collectives normalisées reçues par la population et l'exposition annuelle professionnelle en suivant des employés travaillant à divers stades du cycle du combustible nucléaire. La notion de dose collective permet de prendre en compte les incidences aux échelles locale, régionale ou mondiale. La dose collective calculée pour l'extraction et le traitement de l'uranium figure dans les tableaux 1 et 2.

La dose efficace collective normalisée, indiquée dans les tableaux 1 et 2, est tirée d'un modèle fondé sur une densité de population de 3 habitants par km² au voisinage des usines. Cependant, dans le monde, la production d'uranium s'effectue généralement dans des zones moins peuplées. Les doses sont donc vraisemblablement surestimées.

Pour la totalité du cycle du combustible, les doses efficaces collectives normalisées, réellement reçus sur une à deux années de rejets, s'élèvent à 3 H.Sv/GWe/an ; ils sont dus principalement aux des rejets atmosphériques courants des réacteurs et des mines. La dose collective mondiale pour l'ensemble du cycle du combustible nucléaire a été estimé à 200 H.Sv/GWe/an. Cette dose collective représente l'impact radiologique total sur la population de la terre du cycle du combustible nucléaire. À titre de comparaison, la dose efficace annuelle caractéristique des sources naturelles (2.4 mSv) correspond à une exposition annuelle de la population mondiale, de 5,3 milliards d'habitants, à une dose collective de quelque 13 millions d'H.Sv. La figure 3 illustre l'impact radiologique de toutes les sources, exprimé en pourcentage des doses annuelles globales. Ces estimations s'appuient sur l'étude de 1993 de l'UNSCEAR [6].

Tableau 1. **Dose efficace collective normalisée reçue par le public du fait de l'extraction et du traitement de l'uranium**[6]

Source: Dose efficace collective normalisée (H.Sv pour une production de 200 tU/an*)	
Composante locale et régionale	
Extraction	1,1
Traitement	0,05
Résidus d'extraction et de traitement (rejets sur 5 ans)	0,3
Total (arrondi)	1,45

* Quantité d'uranium nécessaire pour alimenter un réacteur à eau ordinaire de 1 GWe.

Tableau 2. Exposition professionnelle mesurée sur les travailleurs des mines et usines de traitement de l'uranium, 1985-1989 [6]

Type d'activité	Dose efficace collective annuelle (H.Sv)	Dose efficace annuelle par travailleur suivi (mSv)	Dose efficace collective normalisée (H.Sv par 200 tU/an)
Extraction	1 200	4,4	4,3
Traitement	120	6,3	0,44

Figure 1. Flux de matières et impact

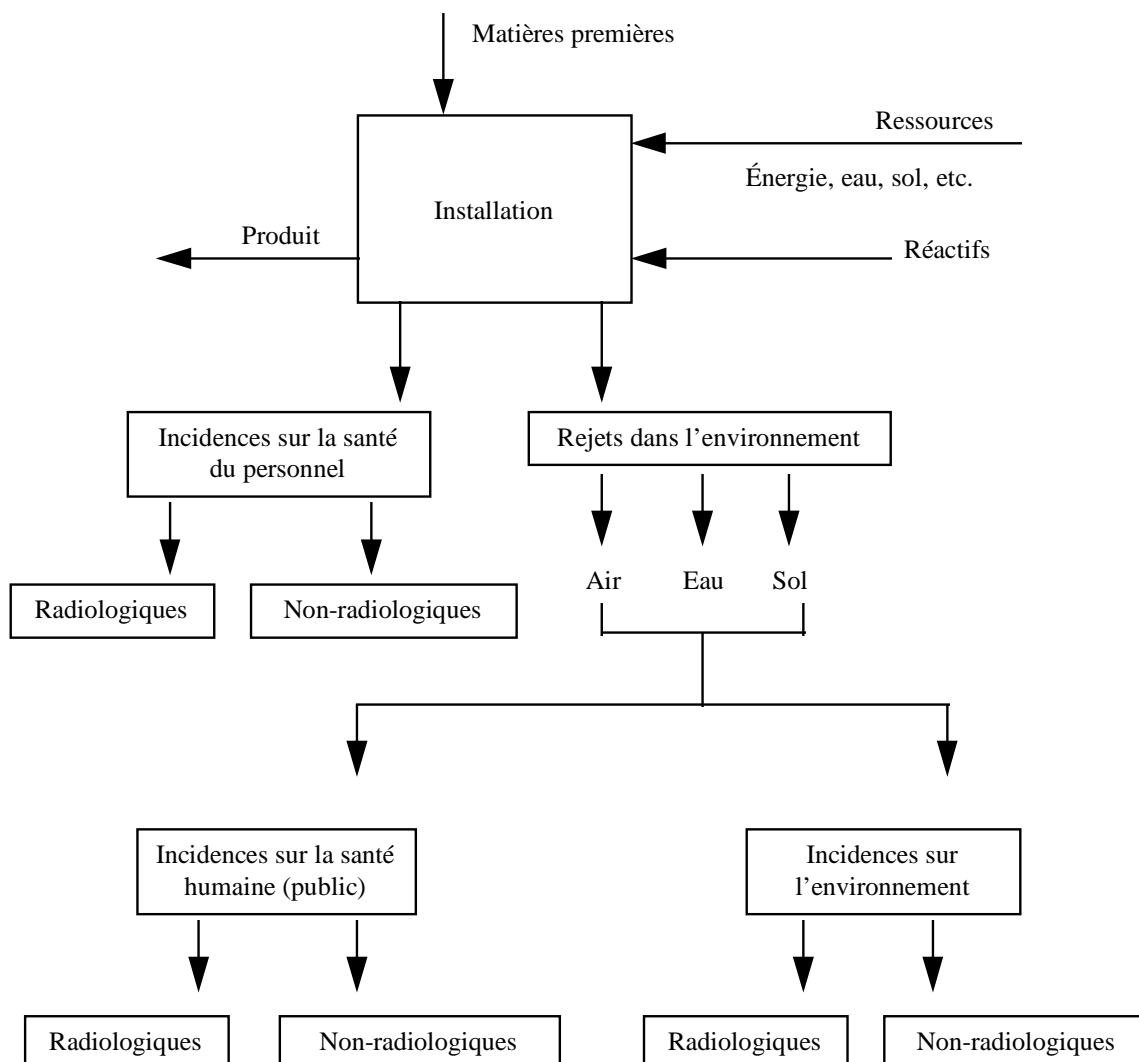
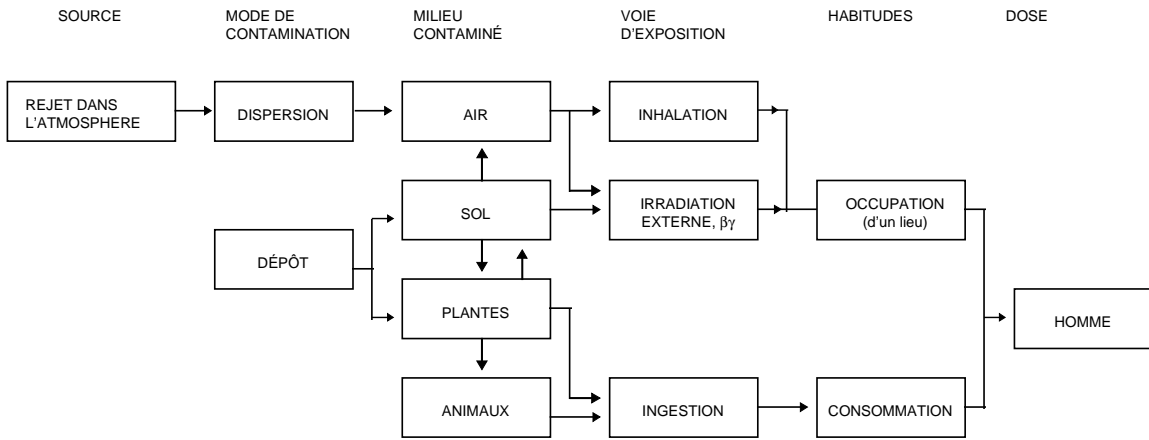
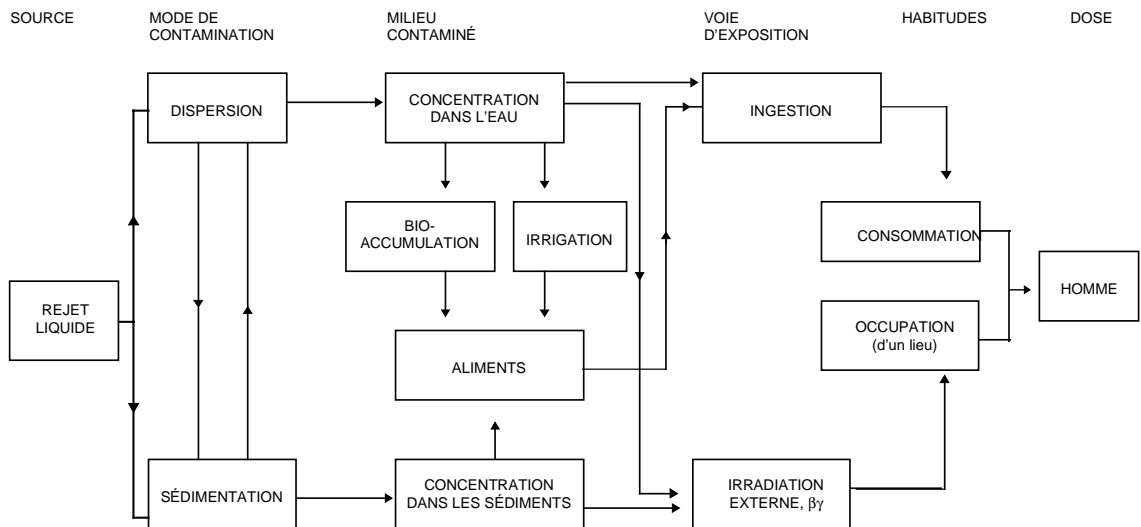


Figure 2. Ensemble de voies d'exposition utilisé couramment dans l'analyse [1]

Représentation schématique des voies d'exposition atmosphérique



Représentation schématique des voies d'exposition aquatique

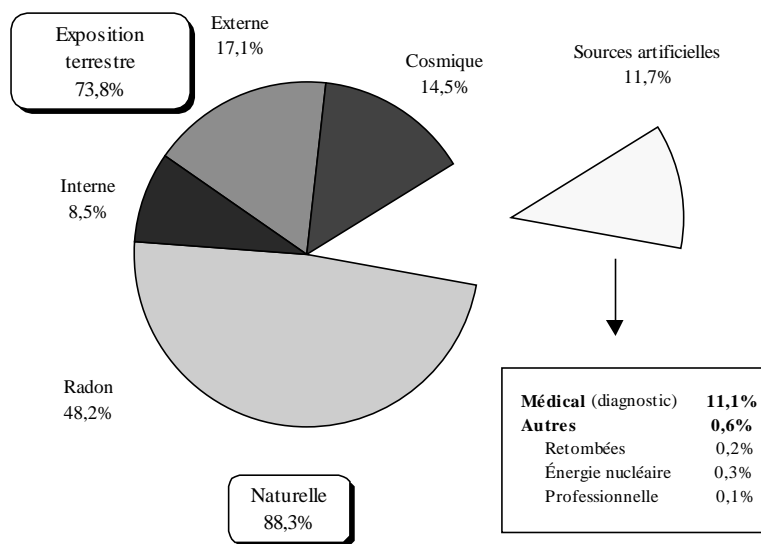


Dans cette étude, l'UNSCEAR évalue à 150 H.Sv/Gwe/an, à partir de chiffres estimés, la dose collective imputable au radon émis par les stockages de résidus de traitement de l'uranium pour un site théorique. Récemment, l'AIEA pris connaissance d'une étude qui recouvre des sites miniers représentant 80% de la production mondiale actuelle et utilise des valeurs réelles des taux de rejet de radon, des surfaces de stockage des résidus, des densités de population et des facteurs de dispersion dans l'air, compte tenue de l'atténuation en fonction de la distance [7]. De 1 H.Sv/Gwe/an, la valeur de la dose collective qu'elle contient est nettement inférieure.

En ce qui concerne la protection de la faune et de la flore, des analyses récentes fondées sur des informations généralisées et des hypothèses prudentes ont montré que les limites en vigueur actuellement pour la protection radiologique de l'homme suffisent en général à protéger des autres espèces (animales et végétales), et que seule la combinaison de conditions écologiques particulières, comme la présence d'espèces rares ou menacées d'extinction et certains stress, peut requérir des analyses propres au site [8]. Néanmoins, du travail supplémentaire sur cet aspect est en cours.

La stratégie de protection de l'environnement à mener par les installations du cycle du combustible nucléaire consiste à ne pas dépasser les limites nationales et internationales de radioprotection s'appliquant aux êtres humains. Dans le cadre de cette stratégie, tous les stades de l'exploitation d'une installation font l'objet d'études et d'une surveillance de l'environnement.

Figure 3. **Estimations des doses annuelles moyennes à l'échelle mondiale, d'après le rapport de 1993 de l'UNSCEAR [3]**



Vue d'ensemble des incidences non radiologiques

Le matériel et les produits chimiques employés par les installations d'extraction et de traitement sont très divers. Ce sont la plupart du temps les mêmes que ceux utilisés dans d'autres industries. L'utilisation de ces produits chimiques et de ce matériel a également des effets similaires. Pour les atténuer, les moyens adoptés englobent des codes de bonne pratique pertinents, des systèmes appropriés de traitement des déchets et une bonne culture de sûreté. Par conséquent, la stratégie de protection de l'environnement vis à vis des substances non radioactives libérées par les installations du

cycle du combustible est généralement identique à celle des industries non nucléaires. La surveillance et les études environnementales effectuées pour les contaminants radioactifs des installations du cycle du combustible s'étendent normalement aux polluants non radioactifs. Le tableau 3 récapitule les sources radiologiques et non-radiologiques potentielles d'impact sur l'environnement et les mesures de protection mises en œuvre dans les installations d'extraction et de traitement de l'uranium.

Tableau 3. Sources radiologiques et non-radiologiques potentielles d'impact sur l'environnement et mesures de protection adoptées dans les installations d'extraction et de traitement de l'uranium

Source	Mesures d'atténuation
Bouleversement temporaire du sol	réaménagement/ pratiques appropriées
Émissions de SO _x	systèmes de désulfuration
Poussières de silice	ventilation/filtres
Radon et produits de filiation	ventilation, noyage ou couverture solide
Métaux lourds	traitement des effluents
NH ₃	élimination
Production d'acide	neutralisation/couvertures imperméables
Résidus	installation de stockage des résidus conçue pour ralentir la migration des radionucléides et réduire les émissions de radon

Sûreté radiologique

La plupart des pays ont adopté une législation régissant les activités minières ainsi que des dispositions générales en matière d'hygiène et de sécurité du travail. Les exploitants des installations d'extraction et de traitement de l'uranium prennent des précautions, et notamment instruisent leur personnel sur les mesures d'hygiène et de sécurité à observer, afin de limiter les incidences éventuelles sur la santé des travailleurs et d'éviter les accidents. Le personnel qui travaille dans ces installations est doté d'un équipement de protection approprié, et des inspections permettent de vérifier que l'équipement est utilisé correctement et que le travail s'effectue en respectant les consignes de sécurité. Pour protéger le public, l'accès aux zones où se déroulent les opérations d'extraction et de traitement de l'uranium est réglementé.

La radioactivité de l'uranium et des éléments radioactifs associés requiert certaines précautions particulières, en plus de celles prises dans des lieux de travail analogues mais sans risque d'irradiation. L'ampleur des précautions qui s'imposent pour limiter la dose de rayonnement reçue par les travailleurs dans les mines et les usines dépend essentiellement du minerai abattu. L'intensité du rayonnement augmente en effet avec la teneur en uranium du minerai.

Les niveaux de rayonnement aux alentours de nombreux types d'installations d'extraction et de traitement de l'uranium sont relativement faibles ; dans la plupart des cas ils ne dépassent la radioactivité naturelle que légèrement. Ils diminuent rapidement lorsqu'on s'éloigne des exploitations. Tant qu'on applique les mesures nécessaires pour maintenir l'exposition dans les limites autorisées, le risque pour le personnel est faible.

La surveillance des niveaux de rayonnement dans les installations et de l'exposition du personnel constitue un volet essentiel des dispositifs de radioprotection. Si des travailleurs sont susceptibles de recevoir des doses représentant un pourcentage important des limites réglementaires, les enregistrements de leur dose individuelle sont conservés. Des dosimètres individuels peuvent être utilisés à cette fin. En outre, un programme de surveillance médicale est mis en œuvre.

Pour les minerais à forte teneur, on sélectionne la technique d'extraction et les procédés d'exploitation qui permettent de réduire et de maîtriser l'exposition des travailleurs. Cela vaut particulièrement pour les mines souterraines. Le recours à des méthodes d'extraction à distance peut s'imposer dans certains cas. Le minerai est alors extrait à l'aide de machines télécommandées par des mineurs éloignés du volume minéralisé.

Lors du traitement du minerai à forte teneur en uranium, il peut être nécessaire d'installer une protection contre les rayonnements, afin de limiter l'exposition des ouvriers qui manipulent les machines. Une fois l'uranium séparé du reste du minerai, qui conserve presque tous les produits de la désintégration radioactive, le concentré d'uranium émet très peu de rayonnements. Par conséquent, avec le concentré d'uranium, les travailleurs ont beaucoup moins de chances d'être exposés directement à une forte dose.

Les produits de la désintégration du radon constituent une source potentielle de radioexposition par inhalation. Le moyen le plus efficace de limiter l'exposition des travailleurs à cette source consiste à ventiler suffisamment les lieux. La ventilation est indispensable si le personnel se trouve en présence de minerai d'uranium dans une enceinte fermée, à plus forte raison dans les mines souterraines.

À l'extérieur, les substances en suspension dans l'air, comme le radon, se diluent pour atteindre rapidement les valeurs naturelles. En conséquence, le radon émis par les opérations d'extraction et de traitement de l'uranium ne menace pas la santé de la population, si celle-ci n'est pas autorisée à entrer dans les installations ni à s'établir à proximité immédiate du site.

Les travailleurs risquent d'inhaler des poussières d'uranium. Lorsque ces poussières sont susceptibles de poser un problème, le remède le plus courant consiste à mouiller le minerai. Dans les zones où la concentration de poussières risque d'être élevée, comme les ateliers de mise en fûts des concentrés d'uranium, les employés sont tenus de porter des masques respiratoires.

La fourniture d'une tenue de protection et la mise en place de consignes d'hygiène individuelle suffisent généralement à atténuer le risque de contamination du personnel.

Protection de l'environnement

Les pays sont de plus en plus nombreux à exiger la réalisation d'études d'impact sur l'environnement (EIE) pour les projets d'extraction et de traitement de l'uranium. Dans le cadre de ces études, les exploitants des mines et des usines déterminent les dispositions qu'ils projettent d'adopter en vue de limiter les incidences sur l'environnement de leur activité. Ces dispositions sont soumises à l'approbation des organismes publics chargés de la réglementation, qui surveillent les opérations conduites dans les installations en service. Une publication récente de l'AIEA présente le processus de l'EIE appliqué à la production d'uranium ainsi que des exemples d'expériences nationales en la matière [9].

Les polluants libérés au cours de l'extraction et du traitement de l'uranium peuvent contaminer l'environnement par deux voies principales : l'air et l'eau. Des échantillons sont prélevés fréquemment au voisinage des installations de production d'uranium et l'environnement est surveillé pour s'assurer que les incidences sur l'environnement ne dépassent pas les limites autorisées. Cette surveillance comporte normalement des prélèvements d'échantillons d'air, de sol, d'eau, de plantes et d'animaux, sans oublier les poissons.

L'industrie de l'uranium a effectué des recherches en vue de mettre au point des stratégies d'exploitation qui répondent aux exigences réglementaires, de limiter les impacts à long terme sur l'environnement, de démontrer que les installations peuvent être correctement démantelées, et de montrer que les sites de stockage des déchets peuvent être fermés en toute sécurité.

Les poussières dégagées par les activités d'extraction et de traitement ou soulevées par le vent à la surface des tas de minerai risquent de contaminer l'environnement. Les solutions utilisables pour empêcher la dispersion des poussières par le vent comprennent l'installation du minerai dans des ouvrages clos et l'application d'un matériau de couverture ou d'eau sur les tas de minerai, de résidus et tous les autres matériaux disposés pêle-mêle. Les espaces où la ventilation entraîne des quantités non négligeables de poussières d'uranium sont pourvus de dépoussiéreurs et de filtres qui purifient l'air avant qu'il ne soit rejeté dans l'environnement.

Dans les usines de traitement on s'efforce d'économiser l'eau. En dehors des opérations qui requièrent de l'eau pure, on emploie de l'eau recyclée dans toute la mesure du possible, en particulier sur les sites où l'apport d'eau est limité. L'eau contaminée au cours des opérations d'extraction et de traitement, qui ne peut être réutilisée, est traitée comme un déchet. Cette eau ne peut être rejetée directement dans l'environnement. Dans certaines régions, l'évaporation dans les bassins supprime la nécessité d'évacuer cette eau. Suivant les contextes, des barrières ouvragées, telles que des barrages et des bermes, ont été édifiées pour prévenir la contamination des eaux superficielles ou souterraines par les opérations d'extraction et de traitement de l'uranium. Ces barrières servent à isoler la mine ou l'usine d'uranium de son environnement.

Gestion des déchets

Les opérations d'extraction et de traitement engendrent trois principaux types de déchets : les déchets miniers, les résidus du traitement et les eaux résiduaires. Il existe une stratégie de gestion adaptée à chaque type de déchet.

Les déchets miniers se composent essentiellement des stériles et de minerai à faible teneur qui doivent être enlevés pour permettre l'accès au minerai. La majorité de ces matériaux ne risque pratiquement pas de contaminer l'environnement. Ils peuvent donc être stockés en surface à proximité de la mine. Parfois, les stériles contiennent des minéraux, dont des sulfures, susceptibles d'être lessivés par l'eau qui traverse les tas de stériles. L'oxydation des sulfures est le processus qui contribue le plus à l'écoulement d'eaux acides et à la mobilisation de métaux issus des déchets miniers dans l'environnement. Les stériles peuvent également avoir des teneurs en uranium supérieures aux valeurs normales de fond, mais insuffisantes pour justifier leur traitement et la récupération du minerai. Dans ce cas, il faut prendre des mesures pour empêcher les stériles ou le lixiviat de quitter le site, afin de prévenir la contamination des eaux superficielles ou souterraines.

Les principaux déchets du traitement sont les résidus qui sont la source du problème environnemental majeur à long terme dans le secteur de la production d'uranium. En effet, il est nécessaire d'isoler de la biosphère les radioéléments à vie longue présentant un risque biologique qui

sont contenus dans ces résidus et ont tendance à migrer vers le milieu ambiant et les chaînes alimentaires. Il convient de prévoir le confinement à long terme de ces matériaux, afin d'empêcher la lixiviation dans l'environnement de leurs composants dangereux. Cette manière de gérer les résidus pendant et après le fonctionnement de l'installation limite l'impact à long terme sur l'environnement. Naguère, certains opérateurs évacuaient les résidus sans se soucier de leur confinement ou en y accordant une faible importance. Cette pratique n'est plus acceptable, et certains grands projets de protection de l'environnement ont été lancés pour évaluer, stabiliser et fermer ces anciens sites.

Dans certains centres de production d'uranium, les résidus sont utilisés pour combler la mine à ciel ouvert quand l'extraction est terminée. Dans la province de la Saskatchewan au Canada, cette méthode d'élimination a été améliorée par l'adjonction d'une « enveloppe drainante ». La technique consiste à intercaler une couche de sable poreuse entre la paroi de la fosse et les résidus. Elle limite les rejets dans l'environnement, en abaissant l'infiltration d'eau dans les résidus à des niveaux très bas. Aujourd'hui, la solution préférée, dans la mesure du possible, est d'utiliser les résidus pour remblayer les excavations minières.

Les résidus du traitement sont généralement évacués sous forme de boues, c'est-à-dire un mélange d'eau et de solides, dans un bassin, où les solides se déposent et l'eau peut être décantée. Cette eau a une teneur élevée en radium et risque de contenir d'autres contaminants. Il est donc indispensable de la traiter avant de la rejeter dans l'environnement.

Les eaux usées des opérations d'extraction et de traitement qui ne sont pas recyclées dans l'usine doivent être isolées sur le site de l'usine ou traitées avant leur rejet dans l'environnement. Les concentrations maximales de chaque contaminant dans l'eau évacuée dans l'environnement sont fixées par des normes spécifiques. Généralement, la teneur en radium, un des produits de la désintégration radioactive de l'uranium, est utilisé comme référence pour déterminer si l'eau traitée ne dépasse pas les seuils de rejet dans l'environnement. Il est relativement facile d'éliminer le radium de l'eau avec les techniques appropriées. Cependant, il existe d'autres éléments non radioactifs à l'état de trace susceptible de présenter des problèmes plus graves que le radium.

Lixiviation in situ

Si le minerai n'est pas ramené à la surface au cours de l'extraction par lixiviation in situ (LIS), la radioprotection et la gestion des déchets demandent beaucoup moins de précautions. Les perturbations occasionnées au niveau du sol sont réduites au minimum et il n'y a pas de résidus, de sorte que cette technique a des incidences sur l'environnement très inférieures à celles des méthodes classiques d'extraction. Les principales dispositions à observer pour l'exploitation sont des vérifications régulières du risque radiologique pour la santé à l'intérieur de l'usine ainsi que la surveillance et le traitement des eaux souterraines à l'intérieur et autour du corps minéralisé exploité.

Réglementation, normes et directives internationales

Ce sont essentiellement les législations environnementales nationales qui régissent les activités de production d'uranium. Cependant, il existe de plus en plus de conventions internationales comportant pour les pays signataires des obligations en matière d'environnement. L'AIEA facilite l'établissement de conventions internationales environnementales qui peuvent traiter de sujets relatifs aux installations de production d'uranium, telles que :

- la Convention sur l'évaluation de l'impact sur l'environnement dans un contexte transfrontière ;

- 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; et
- la Convention sur la protection de l'environnement par le droit pénal.

La Convention sur l'évaluation de l'impact sur l'environnement dans un contexte transfrontière s'applique aux installations nucléaires et de gestion des déchets radioactifs. La Convention implique certains droits et devoirs pour les parties quand une activité a des impacts transfrontaliers 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. La Convention est entrée en vigueur en octobre 1997.

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 s'applique aux installations nucléaires et de gestion des déchets radioactifs. Ses objectifs sont de contribuer à la protection du droit de chaque personne en vie ou à naître à vivre dans un milieu susceptible d'assurer sa santé et son bien-être et de garantir le droit d'accéder à l'information, la participation publique aux décisions et l'accès à la justice en matière d'environnement. La Convention fut signée le 25 juin 1998 par 35 états, tous membres de l'AIEA. L'adoption de la Convention fut concomitante avec la déclaration de 52 ministres de l'environnement de la Communauté économique européenne lors de la quatrième conférence ministérielle « Environnement pour l'Europe ».

La Convention sur la protection de l'environnement par le droit pénal rend le rejet ou l'introduction dans l'air, l'eau ou le sol, de façon illégale, une offense pénale délibérée traitée et punissable comme telle par la loi dans les pays signataires. La Convention fut signée le 19 mai 1999 par 9 États tous membres de l'AIEA.

Les autres conventions internationales qui sont susceptibles de s'appliquer à la production d'uranium incluent : le Convention de 1972 sur le patrimoine mondial, la convention de 1989 sur la biodiversité et le protocole de Kyoto (1997). Un rapport récent du PNUE (Programme des Nations Unies pour l'environnement) décrit l'évolution de la réglementation environnementales relative aux mines [10]. On trouvera ci-dessous un aperçu des normes et directives internationales relatives à l'extraction et au traitement de l'uranium.

Sécurité sur le lieu de travail

Les normes internationales concernant les lieux de travail classiques, qui s'appliquent au traitement de l'uranium, sont publiées par l'Organisation internationale du travail (OIT). Il s'agit de la Convention n°170 concernant la sécurité dans l'utilisation des produits chimiques au travail et de la Recommandation correspondante n°177 (OIT, 1990), ainsi que de la Convention n°174 concernant la prévention des accidents industriels majeurs et de la Recommandation correspondante n°181 (OIT, 1993).

Normes fondamentales de sûreté et de protection contre les rayonnements ionisants

Les deux principales normes internationales qui régissent la sûreté radiologique de l'extraction et du traitement de l'uranium sont publiées par l'AIEA :

- les « Normes fondamentales internationales de protection contre les rayonnements ionisants et de sûreté des sources de rayonnements », Collection Sécurité n°115, édition de 1996 ; et

- la nouvelle « Convention commune sur la sûreté de la gestion du combustible usé et sur la sûreté de la gestion des déchets radioactifs ».

Les « Normes fondamentales internationales de protection contre les rayonnements ionisants et de sûreté des sources de rayonnements » ont été promues et adoptées conjointement par plusieurs organisations internationales : l'AIEA, la FAO, l'OCDE/NEA, l'OIT, l'OMS et le PAHO, et publiées en 1997. Ces normes ont été établies à partir des recommandations de Publication 60 de la Commission internationale de protection radiologique (CIPR). Les nouvelles Normes fondamentales remplacent les « Normes fondamentales de radioprotection » éditées en 1982 dans la « Collection Sécurité » (n°9), devenues obsolètes.

Dans les nouvelles Normes fondamentales, la limite absolue de dose effective pour les employés des mines d'uranium et des usines de traitement est fixée à 50 mSv par an avec une moyenne sur cinq années consécutives inférieure ou égale à 20 mSv par an. Cette norme est plus stricte que la précédente, fixée à 50 mSv/an, sans limite pour la moyenne sur 5 ans. Dans les nouvelles normes, la limite de dose pour le public a également été abaissée à 1 mSv par an, contre 5 mSv par an dans la version précédente.

Les nouvelles Normes fondamentales contiennent aussi des prescriptions visant à limiter la dose de rayonnements imputables aux sources naturelles. La plupart des pays producteurs d'uranium ont décidé d'appliquer les nouvelles normes. Leur mise en œuvre demandera quelques années. L'Union européenne, par exemple, a adopté sa propre version des normes en 1996, qui sera appliquée dans tous les États membres d'ici à l'an 2000.

Convention commune sur la sûreté de la gestion du combustible usé et sur la sûreté de la gestion des déchets radioactifs

La nouvelle « Convention commune sur la sûreté de la gestion du combustible irradié et sur la sûreté de la gestion des déchets radioactifs » s'applique aux résidus de l'extraction et du traitement de l'uranium et aux activités de démantèlement et de fermeture correspondantes. Cette Convention commune a été approuvée lors de la Conférence diplomatique internationale sur cette Convention qui s'est tenue à Vienne le 5 septembre 1997. La Convention a été ouverte à la signature et à la ratification le 29 septembre 1997. Elle entrera en vigueur lorsque 25 pays, dont 15 dotés d'au moins une centrale nucléaire, auront ratifié le texte.

La Convention commune 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, un chapitre sur les mesures générales en matière de sûreté, qui recouvre le cadre législatif et réglementaire, les organismes de réglementation, l'assurance qualité, la radioprotection opérationnelle, la préparation aux situations d'urgence, la responsabilité du détenteur de la licence, les ressources humaines et financières, et le démantèlement. Un autre article est consacré aux mouvements transfrontières de déchets.

Normes et guides de sûreté de l'AIEA

L'AIEA a publié plusieurs Normes et Guides de sûreté, notamment :

- Collection Sécurité n°26 : « La radioprotection des travailleurs dans l'extraction et le traitement des minerais radioactifs », édition de 1983. Code de bonne pratique et annexe technique préparés sous la direction de l'AIEA, de l'OIT et de l'OMS ;

- Collection Sécurité n°85 : « Gestion des déchets des mines et des usines de traitement des minerais d'uranium et de thorium », édition de 1987. Code de bonne pratique et Guide pour l'utilisation du Code.
- Collection Sécurité n°111-F : « Les Principes de la gestion des déchets », fondement de la sûreté, édition de 1995 »;
- Collection Sécurité n°111-S-1 : « L'Établissement d'un système national pour la gestion des déchets radioactifs », norme de sûreté, édition de 1995.

Les deux premiers documents remplacent des codes de bonne pratique antérieurs, publiés en 1976. Parmi les autres documents sur le sujets, les suivants, publiés qu'en anglais uniquement, présentent un intérêt particulier :

- Collection Sécurité n°82 : *Application of the Dose Limitation System to the Mining and Milling of Radioactive Ores* (Application du système de limitation des doses à l'extraction et au traitement des minerais radioactifs), édition de 1987 ;
- Collection Sécurité n°90 : *The Application of the Principles for Limiting Releases of Radioactive Effluents in the Case of the Mining and Milling of Radioactive Ores* (Application des principes relatifs à la limitation des rejets d'effluents radioactifs dans le cas de l'extraction et du traitement des minerais radioactifs), édition de 1989.
- Collection Sécurité n°95 : *Radiation Monitoring in the Mining and Milling of Radioactive Ores* (Surveillance radiologique des opérations d'extraction et de traitement des minerais radioactifs), édition de 1989.

Réglementation de l'Union européenne

À la Commission des Communautés européennes, la Directive 89/391/CEE du Conseil concerne la mise en œuvre de mesures visant à promouvoir l'amélioration de la sécurité et de la santé des travailleurs, qui s'appliquent également aux installations d'extraction et de traitement de l'uranium. La Directive 96/29/Euratom du Conseil établit une réglementation analogue en matière de sûreté radiologique. En outre, les Directives du Conseil 74/326/CEE, 92/58/CEE (concernant les prescriptions minimales pour la signalisation de sécurité et/ou de santé au travail), 92/104/CEE (concernant les prescriptions minimales visant à améliorer la protection en matière de sécurité et de santé des travailleurs des industries extractives à ciel ouvert ou souterraines) et 89/391/CEE définissent les règles à respecter pour protéger la santé et assurer la sécurité des travailleurs des mines et des installations de traitement. La revue « Social Europe » (3/93) reprend les textes principaux. La Directive 96/29/Euratom du Conseil fixe les normes de base relatives à la protection sanitaire de la population et des travailleurs contre les dangers résultant des rayonnements ionisants. Ces dispositions entreront en vigueur dans les États membres en l'an 2000.

Extraction

Aspects techniques

L'uranium est largement représenté dans la croûte terrestre et les océans où sa teneur moyenne s'élève respectivement à 2 parties par million (ppm) et à 5 parties par milliard (ppb). La concentration moyenne requise pour que son extraction soit rentable dépend, entre autres, du prix de l'uranium sur le

marché. Ces dernières années, le prix de l'uranium sur le marché a considérablement baissé, et seuls les gisements à plus forte teneur et à faible coût de production, sont encore exploités. Dans le passé, il était rentable d'extraire par les méthodes classiques des minerais dont la teneur moyenne en uranium atteignait au moins 0.1%. En Occident, où les teneurs moyennes se situent entre 0.01 et 0.1% d'uranium [soit 100 à 1 000 parties par million (ppm)], l'uranium est le plus souvent récupéré comme sous-produit d'autres ressources minérales. En Namibie, les installations classiques d'extraction et de traitement de Rössing produisent de l'uranium à partir de minerais dont la teneur moyenne se situe autour de 0.04%. Le Canada se prépare à exploiter des gisements renfermant jusqu'à 20% d'uranium.

Les gisements contenant les minéraux uranifères sont généralement exploités par les méthodes classiques d'extraction à ciel ouvert ou souterraine, suivant l'environnement géologique du minerai, comme la dimension et la profondeur du gisement, la teneur du minerai et la nature du sol [11]. On opte habituellement pour une mine à ciel ouvert quand le corps minéralisé gît près de la surface, sous des morts-terrains dont l'enlèvement s'avère facile et économique. L'extraction souterraine s'applique par excellence aux corps minéralisés situés à plus de 100 m de profondeur. Ce mode d'exploitation engendre moins de stériles que l'extraction à ciel ouvert. En 1996, 79% de l'uranium produit dans le monde était obtenu par des procédés classiques : 39% dans des mines à ciel ouvert et 40% dans des mines souterraines [12].

L'uranium est aussi exploité par quelques procédés non classiques, comme la lixiviation in situ (LIS) et la lixiviation en tas qui n'a qu'une importance mineure. La LIS requiert un corps minéralisé poreux (grès) saturé par une nappe aquifère et confiné dans des couches assez imperméables. On injecte la solution lixiviante (alcaline ou acide, additionnée d'un oxydant) par des puits dans le minerai laissé en place. Par percolation à travers le minerai, la solution oxyde et dissout l'uranium. La solution uranifère est ensuite récupérée par pompage. L'uranium en est extrait dans une usine en surface, selon une technique d'échange d'ions semblable à celles employées dans certaines installations classiques de traitement du minerai. La LIS est utilisée pour récupérer de l'uranium à une profondeur maximale d'environ 300 m aux États-Unis et 550 m au Kazakstan. En 1996, elle représentait 13% de la production mondiale d'uranium [12].

Dans la plupart des cas, les systèmes de LIS par voie alcaline, qui font appel à des solutions de bicarbonate et à de l'oxygène dissous comme oxydant, sont considérés comme plus doux pour l'environnement que les techniques d'extraction classiques. Cependant, l'extraction par LIS risque de contaminer fortement l'eau souterraine, si l'on utilise de l'acide sulfurique sur des sites qui ne s'y prêtent pas. On considère qu'il est plus difficile de restaurer la qualité des eaux souterraines après LIS par voie acide dans la plupart des cas.

La lixiviation en tas est un processus analogue par lequel le minerai concassé est traité soit déposé dans une galerie souterraine ou soit sur une membrane imperméable déployée à la surface. La lixiviation consiste à faire passer de l'acide sulfurique (ou plus rarement une solution alcaline) à travers le tas et à récupérer la solution uranifère. La lixiviation en tas s'applique généralement à des minerais à faible teneur abattus selon un procédé classique et dont le traitement ne serait pas rentable par des méthodes classiques. À l'heure actuelle, les quantités produites par lixiviation en tas sont faibles.

L'uranium est également récupéré comme sous-produit d'autres opérations minières, notamment la production d'engrais phosphatés et l'extraction d'or, de cuivre et de quelques autres métaux. Ces activités représentaient environ 7% de la production mondiale en 1996 (sans tenir compte de la production de l'Afrique du Sud, qui est normalement comptabilisée dans l'extraction souterraine classique) [12].

La quantité de minerai nécessaire pour produire des combustibles nucléaires dépend de la teneur moyenne du minerai. Ces dernières années, la teneur était généralement comprise entre 0.1% et 2.5% d'uranium. Une production annuelle de quelque 200 tonnes d'uranium correspond à une cadence d'exploitation comprise entre 8 000 et 200 000 tonnes de minerai. Une cadence nettement inférieure suffira pour les gisements à plus forte teneur actuellement mis en exploitation.

La superficie des terrains temporairement affectés à l'extraction à ciel ouvert est actuellement estimée à 25 hectares par tranche annuelle de 200 tonnes d'uranium. Ce chiffre devrait cependant baisser à mesure que les mines à moins forte teneur s'épuisent et sont remplacées par des gisements à plus forte teneur. Quant à la superficie définitivement inutilisable parce que soumise à contrôle institutionnel permanent, elle représente un hectare [4]. L'extraction à ciel ouvert engendre des roches décomposées de surface et la découverte. La quantité de stériles enlevés est estimée à quelque 10^6 tonnes par tranche annuelle de 200 tonnes d'uranium [2].

Les perturbations engendrées par l'extraction souterraine s'étendent sur des superficies relativement restreintes, elles sont dues principalement à l'entassement des stériles en surface. Au cours de l'extraction par LIS, la surface n'est utilisée que temporairement, et ce mode d'exploitation entraîne peu de perturbations.

L'extraction à ciel ouvert perturbe une superficie plus étendue que l'extraction souterraine ou par LIS. Normalement, les sites de mines à ciel ouvert doivent être réaménagés après l'exploitation. Par conséquent la superficie définitivement immobilisée devrait être inférieure à un hectare par tranche de production annuelle de 200 tonnes d'uranium.

Rejets

L'extraction d'uranium s'accompagne de rejets semblables, pour la plupart, à ceux des mines classiques, incluant, outre les rejets typiques, le radon et ses produits de filiation, l'eau contaminée et les poussières.

L'exposition et le débitage du minerai au cours des opérations minières libèrent du radon (essentiellement le radon-222) et des poussières radioactives dans l'atmosphère. Les descendants à vie courte du radon, qui sont issus de la désintégration du radon, constituent une source importante de rayonnements auxquels sont exposés les travailleurs dans les mines d'uranium, en particulier dans les mines souterraines. La ventilation des mines souterraines est destinée à éliminer le radon et à limiter ainsi l'exposition à ses produits de filiation. Toutefois, l'expulsion du radon et de ses produits de filiation des mines souterraines provoque la dispersion de ces radionucléides dans l'environnement. Dans les mines exploitées par LIS, le radon est dissous sous forme gazeuse dans la solution uranifère qui est pompée du corps minéralisé. Ce radon peut être rejeté dans l'environnement si la solution est exposée à l'air libre dans des réservoirs ou des bassins. Les rejets moyens de radon lors de l'extraction s'élèvent à 75 TBq par tranche annuelle de 200 tonnes d'uranium [6].

L'eau contaminée par des matières radioactives et autres résulte du drainage des mines souterraines et à ciel ouvert, du ruissellement et de l'infiltration d'eau à la surface et à l'intérieur des versants à stériles et des tas de minerai. Tant les opérations courantes de LIS que la restauration des aquifères produisent de l'eau contaminée. La radioactivité de cette eau vient généralement de la dissolution d'ions solubles d'uranium, de thorium, de radium et de plomb. L'eau peut aussi être contaminée par divers métaux lourds comme l'arsenic, le sélénium et le nickel. Si le minerai renferme de la pyrite, il convient de neutraliser, au cours du traitement, l'eau acidifiée par cette substance si elle est destinée à être rejetée dans l'environnement. L'acidification concerne tous les types d'extraction,

puisque l'acide dissout les métaux lourds et en accroît la mobilité. Elle mobilise aussi les radionucléides présents dans les minerais d'uranium. L'abattage à l'explosif peut également introduire des nitrites, des nitrates et de l'ammoniac dans les eaux d'exhaure.

Très souvent, l'eau contaminée est collectée afin d'être recyclée dans l'usine de traitement. Ce procédé permet de réduire la quantité d'eau contaminée, tout en récupérant les petites quantités d'uranium présentes dans l'eau. Autre avantage du recyclage des eaux de mines : on n'a besoin que d'une seule installation de traitement et d'un seul point de rejet, ce qui simplifie la surveillance des rejets. L'effluent est neutralisé dans l'installation de traitement, si nécessaire, et additionné de produits chimiques et de flocculants. L'effluent traité séjourne d'abord dans le ou les bassins d'évaporation de l'installation de traitement, le temps que les contaminants précipitent, avant d'être rejeté dans l'environnement.

En installant des couvertures résistant au vent sur les tas de minerais exposés ou en les arrosant d'eau, on les empêche de libérer des poussières. Il est parfois nécessaire d'asperger aussi les routes pour réduire l'envol de poussières.

D'autres substances risquent également d'être rejetées, comme dans n'importe quelle entreprise industrielle. Il s'agit par exemple de fiouls, de déchets solides contaminés et de matériaux de remblayage ordinaires. Si ces matières contiennent des radionucléides, elles sont évacuées sur le site de stockage des résidus. Cependant, cette pratique est interdite dans certains pays et n'est pas conseillée par l'AIEA. Les autres déchets non radioactifs sont utilisés pour des travaux de terrassement. Des prescriptions et des règlements locaux en matière d'environnement régissent normalement l'élimination de ces matières.

Après la fermeture d'une exploitation, la plupart des pays exigent que le site soit réaménagé au cours de la fermeture de la mine et du démantèlement de l'usine. Les obligations en matière de démantèlement peuvent inclure la restauration de la qualité des eaux souterraines dans le cas d'une extraction par LIS, s'il existe un risque de contamination des aquifères qui fournissent l'eau potable ou servent à d'autres usages.

À la fin de l'exploitation, il est fréquent que des minéralisations affleurent au niveau des parois et du mur d'une mine à ciel ouvert. Il peut en résulter des rejets permanents de contaminants comme le radon, d'autres radionucléides et des métaux lourds. Cependant, les mines épuisées sont souvent noyées ou réaménagées de façon à limiter ces émissions. Dans certains cas, les résidus de traitement y sont stockés. Généralement, les mines souterraines libèrent beaucoup moins de radon lorsque les opérations minières cessent. La ventilation forcée est arrêtée, la mine est noyée, et les ouvertures de la mine sont obturées.

L'extraction par LIS présente un risque de contamination des aquifères adjacents. Toutefois la nécessité d'un confinement de la minéralisation entre des couches géologiques et l'obligation d'exercer une surveillance rendent improbable la contamination de ces aquifères. À condition de prendre les mesures appropriées en temps utile, il est relativement aisé de remédier à toute contamination éventuelle.

Si une mine à ciel ouvert ou souterraine descend en dessous de la surface hydrostatique, il est nécessaire de pomper l'eau souterraine pour permettre les opérations minières, ce qui peut temporairement rabattre la nappe phréatique, effet qui se limite généralement au voisinage immédiat du siège des opérations minières. La surface hydrostatique retrouve habituellement son niveau normal dès que l'on cesse de pomper.

Au terme de l'exploitation, on procède au démantèlement de l'installation [13], autrement dit, à toutes les opérations administratives et techniques nécessaires pour que puissent cesser certains voire tous les contrôles réglementaires. Il y a lieu de prendre des mesures appropriées pour préserver la santé et la sécurité des travailleurs et de la population et protéger l'environnement. Les plans de démantèlement doivent être soumis à l'approbation des autorités publiques réglementaires. Le démantèlement et le réaménagement des sites relèvent généralement du principe selon lequel le site doit, autant que possible, retrouver son état initial. Après la fermeture des installations, il faut surveiller le site suffisamment longtemps pour acquérir la certitude que le risque à long terme pour l'environnement est négligeable.

Au cours de la fermeture, les tas de déchets qui pourraient être à l'origine d'une contamination par les métaux lourds et les radionucléides, sont remodelés et recouverts de végétation, afin de limiter l'infiltration d'eau, les émanations de radon et l'érosion éolienne. En outre, tous les précipités provenant du traitement de l'eau doivent être éliminés de manière appropriée, car ils risquent de contaminer l'environnement ultérieurement. Dans certains cas, une partie des matériaux sous-jacents peut être stockée dans un bassin de décantation, à condition qu'il y en ait un sur le site.

Accidents

De tous les événements qui risquent d'avoir des répercussions sur l'environnement au cours de l'exploitation de l'uranium le plus probable est le rejet accidentel d'eau contaminée d'une canalisation ou la rupture des systèmes de transport des boues. La rupture brutale d'un bassin de décantation risque aussi de porter atteinte à l'environnement. Les sites sont généralement pourvus de systèmes de surveillance destinés à détecter rapidement ce type de fuite, qui permettent de limiter les dégâts et d'y remédier promptement.

Traitement de l'uranium

Aspects techniques

Le minerai d'uranium est généralement traité à proximité de la mine pour limiter les frais de transport. La mine et l'usine ne sont généralement pas éloignées l'une de l'autre de plus de 5 à 10 kilomètres. Cependant, dans certains cas, le minerai d'uranium et/ou les boues de concentré doivent être transportés par camion ou par train à l'usine pour y être traités. Dans tous les cas, des mesures sont mises en place pour prévenir le rejet de ces matières dans l'environnement pendant leur transport. Des mesures sont en place également pour faire face à des rejets accidentels. Cependant, l'emplacement de l'usine dépend avant tout de l'existence d'un site de stockage des résidus acceptable du point de vue de l'environnement. L'uranium est habituellement extrait par lixiviation chimique du minerai préalablement concassé et broyé. La lixiviation à l'acide sulfurique est la méthode la plus courante. Toutefois, certaines installations recourent à la lixiviation par voie alcaline lorsque le minerai renferme du calcaire ou des composants de base analogues, qui exigeraient des quantités excessives d'acide. La solution uranifère est purifiée et concentrée par échange d'ions et/ou par extraction par solvant. L'uranium en solution est ensuite précipité, filtré et séché. On obtient ainsi des concentrés titrant 60-90% d'uranium en poids.

On estime qu'à l'heure actuelle, une installation de traitement doit disposer en moyenne de 4 hectares de terrain par tranche de production annuelle de 200 tonnes d'uranium [4]. Environ les trois quarts de cette superficie sont occupés par un bassin destiné au stockage permanent des résidus du

traitement. La superficie de sol requise dépend étroitement de la teneur du minerai traité. À mesure que des centres d'extraction et de traitement de minerai à faible teneur fermeront et seront remplacés par des installations qui exploitent du minerai à plus forte teneur, la superficie des terres utilisées par tranche de production de 200 tonnes d'uranium par an diminuera sensiblement.

Rejets

Les rejets du traitement de l'uranium se composent de matières solides, d'eau contaminée, de terrains de couverture, de déchets rocheux contaminés et d'effluents atmosphériques. Les boues représentent le principal déchet du traitement. Ce courant de déchets est constitué d'un mélange de minerai solide lixivié et des solutions résiduelles du broyage, de la lixiviation, de la purification de l'uranium, de la précipitation et des circuits de lavage de l'usine. Comme l'uranium ne représente qu'une petite partie du minerai, les résidus occupent pratiquement le même volume que le flux d'entrée dans l'usine. Environ 40 à 60 000 m³ de résidus du traitement de l'uranium sont produits par tranche annuelle de 200 tonnes d'uranium [14].

Les résidus se caractérisent donc par leur volume important et par leur faible teneur en radionucléides naturels à vie longue. Environ 15% de la radioactivité totale présente à l'origine dans le minerai se retrouve dans le concentré d'uranium produit par l'usine. Après la désintégration des radionucléides à vie courte, environ 70% de la radioactivité originelle du minerai subsiste dans les résidus. Ces résidus renferment presque tous les produits de filiation naturels de l'uranium, notamment le thorium-230 et le radium-226. Le thorium-230 constitue une source de radon à long terme.

Ces résidus contiennent aussi tous les métaux lourds présents au départ dans le minerai, et des réactifs comme l'ammoniac et des solvants organiques. Par conséquent en l'absence de mesure pour confiner les résidus, tous ces produits risquent de se retrouver à longue échéance dans l'eau souterraine en dessous du bassin de décantation. Les incidences de ces rejets à long terme doivent donc être évaluées et quantifiées. Pour ce faire, on recourt généralement à la surveillance et à la modélisation prévisionnelle. Les incidences des résidus du traitement sur l'environnement ont fait l'objet de nombreuses études et analyses [14,15].

Le traitement vise, par nature, à modifier les caractéristiques minéralogiques et chimiques du minerai extrait, afin de fournir l'uranium sous une forme plus soluble et concentrée. Il tend également à accroître la solubilité de certains contaminants associés au minerai. Le traitement par voie acide, par exemple, favorise la dissolution et la mobilisation potentielle des produits de la désintégration du radium et de divers métaux lourds contenus dans le minerai. Les stockages de résidus sont conçus pour empêcher la libération de ces contaminants et en atténuer les conséquences.

Dans les régions sèches, les sites de traitement produisent peu ou pas d'effluents liquides. Par contre, sous les climats humides, toute l'eau de ruissellement sur les sites de traitement est susceptible de contenir des radionucléides et doit donc, le cas échéant, être traitée avant d'être rejetée dans l'environnement. En général, l'eau contaminée des usines d'uranium est rejetée dans les bassins de décantation. Les contaminants peuvent comprendre des radionucléides, des métaux lourds, des sulfates, des chlorures, des composés organiques et de l'ammoniac. La composition exacte du mélange dépend de facteurs tels que le procédé de traitement et la teneur du minerai. Le traitement de l'eau réduit la concentration des métaux lourds, des radionucléides et de certains anions. Il est cependant nécessaire de contrôler l'eau rejetée pour vérifier que tous les composants respectent les limites réglementaires. La majeure partie de l'eau s'évapore ou est traitée et rejetée dans l'environnement. Dans certains cas, l'eau peut être recyclée, ce qui réduit encore la quantité d'eau contaminée

Les effluents radioactifs rejetés dans l'air lors du traitement de l'uranium sont les poussières et le radon libérés par les tas de minerai ou des bassins de décantation des résidus de traitement, ou lors des opérations de concassage et de broyage du minerai, de séchage et de conditionnement du concentré d'uranium. Les poussières dégagées au cours des opérations de traitement sont partiellement éliminées par des dépoussiéreurs et/ou filtres installés sur les systèmes de ventilation. Toutefois, lorsque l'usine est mise hors service, les résidus peuvent continuer à dégager du radon et des poussières radioactives. L'UNSCEAR [6] a estimé les valeurs des rejets de radon-222 des usines et des résidus de traitement pendant l'exploitation et des stockages de résidus abandonnés après l'arrêt de l'exploitation à 3 TBq, 20 TBq et 1 TBq par GWe/an, respectivement.

Comme le radon se disperse rapidement, il est difficile de détecter une augmentation de sa concentration par rapport aux valeurs de fond, dès qu'on s'éloigne du site de stockage des résidus proprement dit. Suivant la topographie, on retrouve généralement les concentrations ambiantes à 1 ou 2 km du site [15].

Les polluants chimiques libérés dans l'atmosphère comprennent des produits de combustion (oxydes de carbone, d'azote et de soufre) rejetés par les chaudières à vapeur des usines et les groupes électriques, des vapeurs d'acide sulfurique en faible concentration dégagées par les cuves de lixiviation, et des réactifs organiques vaporisés en sortie du système de ventilation des unités d'extraction par solvant. En outre, si l'acide sulfurique est produit sur place, du dioxyde de soufre est rejeté dans l'atmosphère s'il n'y a pas d'équipement de désulfurisation.

Les travailleurs de l'usine peuvent être exposés à de la poussière de minerai dans les unités de concassage et de broyage, à des produits de filiation du radon à vie courte et à des rayonnements gamma dans les ateliers où sont manipulés le minerai et les résidus et à la poussière de concentré d'uranium dans les unités de précipitation, de séchage et de conditionnement. L'UNSCEAR [6] a évalué la dose efficace annuelle moyenne à 6.3 mSv par travailleur suivi (tableau 2). Dans ces usines, l'exposition interne est celle qui contribue le plus à l'exposition totale. Les résultats de l'analyse de cette exposition donnent la répartition suivante : inhalation des produits de filiation du radon, environ 38%, inhalation de poussières de minerai, environ 47% et irradiation externe, environ 15%.

La plupart des autorités exigent que les installations, mines, usines et résidus soient fermées et démantelées en fin d'exploitation. Il s'agit notamment de réaménager les bassins de décantation des résidus une fois prises toutes les mesures pratiques, réglementaires et administratives destinées à réduire au minimum l'entretien et la surveillance à long terme. Les installations modernes de stockage des résidus ont été construites en prévision du démantèlement. Elles sont conçues en fonction de facteurs tels que la fluidité de la fraction boueuse des résidus, les difficultés soulevées par le drainage, la couverture et la mise en végétation des masses de résidus, l'érosion des résidus et de leur couverture, les phénomènes d'infiltration dans les bassins de décantation des résidus et de rejet à l'extérieur et la mobilisation des métaux lourds. Dans le cas des résidus renfermant de la pyrite, ce dernier facteur risque de provoquer un drainage acide minier. Dans les installations plus anciennes, ces problèmes doivent être réglés au moment de la fermeture du site.

Accidents

Les incidents les plus probables lors du traitement de l'uranium sont le déversement accidentel de résidus dans les cours d'eau avoisinants ou un grave incendie dans le circuit d'extraction par solvant. Les rejets accidentels peuvent résulter de la rupture de la digue d'un bassin de décantation. Il est toutefois possible de réduire ce risque au minimum par le choix d'un emplacement propice, par une conception judicieuse et par la stabilisation du bassin avant la fermeture.

De même, une conception adaptée, permettant de contrôler et de récupérer les substances déversées, peut atténuer l'impact d'une éventuelle rupture de canalisation transportant de l'eau contaminée ou des résidus.

Le circuit d'extraction, qui contient des solvants (essentiellement du kérosène) et de l'uranium naturel, présente un risque d'incendie grave. Il est indispensable de mettre en place des mesures de sécurité classiques pour l'éviter ou en réduire la probabilité.

Du mépris de l'environnement au développement durable

Des années 40 aux années 60, tant les pays de l'Ouest que les pays de l'Est ont aménagé rapidement des mines et des usines de traitement afin de satisfaire la demande d'uranium pour les besoins militaires qui progressait très vite. À cette époque, la priorité était donnée à la production rapide d'uranium pour les besoins militaires, et l'on faisait peu de cas des conditions de travail et de la protection de l'environnement. Cette absence de protection de l'environnement et de mesures de sûreté radiologique est à l'origine de nombreux problèmes. Pour ce qui est des conditions de travail, les niveaux élevés de radon dans les mines souterraines sont responsables de cancers du poumon chez les mineurs. En outre, on a laissé en l'état les déchets miniers et les résidus des usines de traitement sans tenir compte de leur impact sur l'environnement ni prendre de mesures pour leur stockage à long terme.

Plusieurs pays ont des projets pour éliminer en toute sécurité les déchets des mines abandonnées et les résidus des usines d'extraction, remettre en état les anciens sites et résoudre les problèmes environnementaux associés. Ces programmes coûtent souvent très cher [16,17]. Des organisations internationales comme l'AIEA et l'Union européenne ont également entrepris des études et des projets de réaménagement.

Dans les années 70, l'industrie de l'extraction et du traitement de l'uranium a pris conscience de l'importance du milieu de travail, de la sûreté radiologique et de la protection de l'environnement. Des autorités réglementaires ont été créés dans la plupart des pays producteurs d'uranium. En outre, en Australie, au Canada et aux États-Unis, soit les pays qui disposent des plus importantes ressources d'uranium, il devint obligatoire de réaliser une étude d'impact sur l'environnement (EIE) avant d'ouvrir de nouvelles mines et usines. D'autres pays les ont suivis, de sorte qu'aujourd'hui, ces études d'impact sur l'environnement se sont généralisées dans les pays producteurs d'uranium.

Des organismes gouvernementaux ont été chargés de surveiller les rejets dans l'air et dans l'eau ainsi que le réaménagement des sites après la fermeture des mines. En 1979, le gouvernement australien a créé l'Office of Supervising Scientist dans le Territoire du Nord, dont la mission consiste à étudier les répercussions écologiques éventuelles de l'extraction de l'uranium. Ces recherches, entamées en 1979, se poursuivent aujourd'hui. D'autres pays possèdent également des organismes publics qui se consacrent à l'étude des effets écologiques des opérations minières.

La plupart des producteurs d'uranium se sont dotés de départements responsables de la sécurité au travail, notamment de la sûreté radiologique, ainsi que de la protection de l'environnement. C'est à eux qu'il incombe d'exercer la surveillance nécessaire et de mener des projets de recherche et développement pour s'assurer du bien-être des travailleurs et du public en général, et veiller à la protection de l'environnement à très long terme. Il existe de plus, des entreprises de consultants très compétentes dans le domaine de l'environnement auxquelles les entreprises minières font appel pour des projets particuliers. Dans de nombreux pays, il s'agit aujourd'hui de développer et d'exploiter ces installations de façon à produire le moins possible d'effets sur l'environnement et, ensuite, de remettre le site dans les conditions où il se trouvait avant les opérations minières.

En conséquence, les impacts des installations de production d'uranium sur la santé et l'environnement sont très faibles pour les projets correctement planifiés, développés et exploités et pour lesquels des mesures adéquates ont été prises ou sont prévues pour le démantèlement et la fermeture de la mine, de l'usine et des stockages de résidus. En outre, les opérateurs de ces installations continuent à faire des recherches pour réduire davantage les impacts sur l'environnement.

Le rapport Brundtland de la Commission mondiale sur l'environnement et le développement (1987) définit le développement durable comme « un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs ».

Les activités d'extraction et de traitement de l'uranium tendent actuellement vers le développement durable dans la mesure où elles s'efforcent de réduire au minimum l'impact sur l'environnement des projets actuels et futurs. Par rapport aux effets environnementaux d'autres sources d'énergie, ceux de la production d'uranium sont assez limités. L'adoption de bonnes pratiques, au moment de la planification, de l'exploitation et de la fermeture des installations de production, permettent effectivement d'atténuer ces effets. De cette manière, les générations futures seront en mesure d'utiliser une bonne partie des zones démantelées pour leurs propres besoins. Par ailleurs, les opérations d'extraction et de traitement de l'uranium rejettent des quantités assez faibles de dioxyde de carbone et d'autres gaz à l'origine de « l'effet de serre ». C'est pourquoi, ces activités liées à l'énergie nucléaire contribuent beaucoup moins aux problèmes environnementaux actuels, tels que les pluies acides et le réchauffement climatique, que la production d'électricité à l'aide de combustibles fossiles.

Si l'on se place du point de vue des ressources, l'uranium existe en abondance. Les quantités disponibles devraient permettre de satisfaire les besoins mondiaux futurs, quand bien même ils augmenteraient dans de fortes proportions. Le seul usage civil important de l'uranium est la fabrication de combustibles nucléaires pour produire de l'électricité. Les Ressources connues (Ressources Raisonnablement Assurées et Ressources Supplémentaires Estimées – Catégorie I) représentent 4.35 millions de tonnes d'uranium [12]. D'après les estimations géologiques, la poursuite de l'exploration devrait permettre de disposer de 12 millions de tonnes de Ressources Supplémentaires Estimées – Catégorie II et de Ressources Spéculatives. Les phosphates constituent également d'importantes ressources d'uranium en faibles concentrations (c'est-à-dire environ 100 ppm). De l'uranium est d'ores et déjà récupéré comme sous-produit de la production d'acide phosphorique. Il serait possible d'extraire davantage d'uranium des phosphates, mais à un coût assez élevé (environ 80 \$/kg d'U, voire plus). L'eau de mer contient aussi d'importantes quantités d'uranium. La faisabilité technique de la récupération de cet uranium a été démontrée. Cependant, son coût est nettement plus élevé que celui de la production des mines en exploitation aujourd'hui.

La production électronucléaire s'établissait en 1997 à 2 300 TWh/an. On trouvera sur le tableau 4 les catégories de ressources estimées avec le nombre correspondant d'années de production d'électricité à ce niveau.

Au rythme actuel de la production électronucléaire, à savoir 2 300 TWh/an, la consommation à long terme d'uranium naturel se situe à environ 50 000 tonnes par an. Pour établir ce chiffre, on a considéré qu'une partie de l'uranium et du plutonium serait recyclée dans les réacteurs à eau ordinaire, et que la teneur en uranium-235 de l'uranium appauvri issu des opérations d'enrichissement diminuerait, ce qui correspond à l'optimum économique à des prix de l'uranium un peu plus élevés qu'aujourd'hui. Les estimations présentées sur le tableau 4 donnent une indication des quantités d'uranium éventuellement disponibles pour assurer la poursuite des programmes électronucléaires sur de nombreuses générations.

Tableau 4. **Ressources en uranium et production potentielle au niveau actuel**

Catégorie de ressources	Quantité estimée – million de tonnes d'uranium	Nombre d'années de production électronucléaire au niveau actuel
Stocks d'uranium	0,2	4
Uranium hautement enrichi et plutonium*	0,6	12
Ressources en uranium connues	4,3	86
Ressources en uranium estimées non découvertes	12	240
Uranium contenu dans les phosphates	22	440
Uranium contenu dans l'eau de mer	4 000	80 000

* Uranium hautement enrichi et plutonium tirés essentiellement de la conversion des armes nucléaires en combustibles nucléaires.

Comme l'uranium n'a pas d'autre usage important, on peut estimer que l'énergie nucléaire est une technologie répondant aux critères du développement durable étant donné qu'elle permet de satisfaire les besoins actuels en énergie sans compromettre la capacité des générations futures à satisfaire leurs besoins. Les opérations d'extraction et de traitement de l'uranium continueront de progresser sur la voie du développement durable tant que la gestion environnementale et la réaménagement des sites seront réalisées de manière responsable.

RÉFÉRENCES

1. AIEA (1996), *Health and Environmental Aspects of Nuclear Fuel Cycle Facilities*, TECDOC-918, Vienne, Autriche.
2. U.S. Atomic Energy Commission (1974), *Environmental Survey of the Uranium Fuel Cycle*, WASH-1248, Washington, États-Unis.
3. Nations Unies (1979), *The Environmental Impacts of Production and Use of Energy, Part II- Nuclear Energy*, PNUE, New York, États-Unis.
4. Nations Unies (1980), *Nuclear Energy and the Environment*, PNUE, New York, États-Unis.
5. AIEA (1982), *Nuclear Power, the Environment and Man*, Vienne, Autriche.
6. Nations Unies (1993), *Sources et effets des rayonnements ionisants*, (Rapport à l'Assemblée générale), Comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants(UNSCEAR), New York, États-Unis.
7. AIEA (1998), *The Impact of New Environmental and Safety Regulations on Uranium Exploration, Mining, Milling and Waste Management*, Technical Committee Meeting, 14-17 septembre 1998, Vienne, Autriche.

Douglas D. Chambers, Leo M. Lowe, Ronald H. Stage, *Long-Term Population Dose due to Radon-222 released from Uranium Mill Tailings*.

8. AIEA (1992), *Effects of Ionizing Radiation on Plants and Animals at levels implied by current radiation protection standards*, Technical Reports Series No. 332, Vienne, Autriche.
9. IAEA (1997), *Environmental Impact Assessment for Uranium Mine, Mill and In-Situ Leach Projects*, TECDOC-979, Vienne, Autriche.
10. Balkau, F. and Parsons, A., *Emerging Environmental Issues for Mining in the PECC Region*, paper presented at the First Pacific Economic Co-operation Committee Minerals Forum, PNUE, 22 avril 1999, Lima, Pérou.
11. AIEA (1993), *Uranium Extraction Technology*, Technical Reports Series n°359, Vienne, Autriche.
12. OCDE/AEN-IAEA (1998), *Uranium 1997: Ressources, Production et Demande*, Paris, France.
13. AIEA (1994), *Decommissioning of Facilities for Mining and Milling of Radioactive Ores and Close-out of Residue*, Technical Reports Series No. 362, Vienne, Autriche.
14. AIEA (1992), *Radioactive Waste Management*, An IAEA Source Book, Vienne, Autriche.
15. Nuclear Regulatory Commission, *Characterisation of Uranium Tailings Cover Materials for Radon Flux Reduction*, Rep. NUREG/CR-1081, USNRC, Washington, DC (1980), in John, R.D., « Long-Term Effects of Uranium Tailings on Canadian Surface Waters », communication présentée à la 2nd Int. Conf. On Radioactive Waste Management, Winnipeg, Canada, septembre 1986.
16. Energy Information Administration (1995), *Decommissioning of U.S. Uranium Production Facilities*, DOE/EIA-0592, Washington, DC, États-Unis.
17. Uranerzbergbau-GMBH, *International Comparison of The Costs of Decommissioning and Restoring Uranium Production Facilities – Influencing Factors and Dependencies*, Contrat de recherche 37/93, Ministère Fédéral de l'Économie, Bonn, Allemagne (traduit par l'OCDE)].

III. ACTIVITÉS DE L'AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE ET DE L'AGENCE DE L'OCDE POUR L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE

L'AIEA a favorisé la prise en compte et l'adoption par les gouvernements et les producteurs d'uranium de normes internationales, de politiques et pratiques d'exploitation des mines et des usines de traitement de l'uranium qui vont dans le sens du développement durable. C'est pourquoi l'AIEA a des contacts fréquents avec les représentants des organismes réglementaires et des exploitants des usines de production d'uranium des pays dotés d'activités dans ce secteur.

Depuis plusieurs années, l'AIEA mène des activités dans ce domaine telles que symposiums, colloques, cours de formation, projets de recherche ou projets de coopération technique, entre autres. Elle a rédigé de nombreuses publications dont des rapports et des normes de sûreté, des guides de sûreté, des recommandations et des rapports techniques.

En 1993 et 1994, l'AIEA a lancé un projet de coopération technique intitulé *Planning for Environmental Restoration of Radioactively Contaminated Sites in Central and Eastern Europe* (projet sur la régénération de l'environnement). Trois ateliers ont été organisés en Hongrie, en Slovaquie et en République tchèque. Les conclusions de ces ateliers ont été publiées dans un rapport technique de 900 pages en trois volumes (AIEA-TECDOC 865). Ce rapport présente un bilan complet de la situation ainsi que des projets de remise en état des sites contaminés en Europe centrale et orientale. Une bonne partie de ces projets concerne les mines et les usines de traitement d'uranium. On trouve également dans cet ouvrage des descriptions de sites au Kazakhstan et en Europe de l'Ouest.

Les résultats d'un projet AIEA relatif aux aspects sanitaires et environnementaux des installations du cycle du combustible (*Health and Environmental Aspects of Nuclear Fuel Cycle Facilities*) ont été publiés dans un rapport technique en 1996 (AIEA-TECDOC 918). Ce rapport fait le tour des principaux problèmes liés à l'exploitation et au traitement de l'uranium. On y trouvera des informations concernant l'Espagne, l'Inde, la Chine et la Fédération de Russie. Un rapport publié en 1999 et intitulé *Communications on Nuclear, Radiation, Transport and Waste Safety: A Practical Handbook* (AIEA-TECDOC-1076), fournit des informations sur le traitement et l'extraction de l'uranium et identifie plusieurs sites Internet traitant des aspects de sûreté et environnementaux de ces activités.

L'AIEA a également lancé une nouvelle activité intitulée « *UPSAT – Uranium Production Safety Assessment Team* ». Il s'agit d'un service d'expertise internationale des usines de production d'uranium. Ce service consiste à réaliser des évaluations de la sûreté et des études environnementales à la demande des pays intéressés.

L'AIEA prépare actuellement une dizaine d'autres rapports techniques et publications dans la Collection Sécurité qui concernent l'exploitation et le traitement de l'uranium. Par ailleurs, elle a prévu d'organiser en 2000, en coopération avec l'AEN, un symposium consacré à la production d'uranium et l'environnement (*Uranium Production Cycle and the Environment*).

L'annexe 2 décrit plus en détail les activités et publications récentes de l'AIEA.

Dans le passé, l'AEN a contribué activement à la mise au point de méthodes et de concepts sûrs pour la gestion des résidus d'extraction et de traitement. À cet effet, elle a publié en 1982 un rapport intitulé *La gestion des résidus de traitement de l'uranium* [OECD/NEA, ISBN92-64-02288-0] et en 1984 un deuxième rapport sur les *Aspects radiologiques à long terme de la gestion des déchets résultant de l'extraction et du traitement de l'uranium* [OECD/NEA, ISBN92-64-12651-1]. En 1999, l'AEN a lancé une étude sur « Le réaménagement des usines de production d'uranium dans le monde ». Cette étude a été entreprise en collaboration avec l'AIEA et sous la conduite du Groupe conjoint AEN/AIEA sur l'uranium.

Grâce à ces programmes, les deux agences ont effectivement aidé leurs membres à améliorer leurs technologies de production d'uranium mais aussi à renforcer la réglementation en matière de protection de l'environnement et de sûreté. Elles ont toutes deux favorisé les échanges d'informations entre tous les pays sur tout ce qui touche à la planification et à l'exploitation des usines de production en service, ainsi qu'au réaménagement des installations abandonnées.

IV. SYNTHÈSE DES THÈMES ABORDÉS DANS LES RAPPORTS NATIONAUX

Cette section contient un résumé succinct des activités environnementales évoquées par les pays dans leurs réponses et que l'on trouvera décrites plus en détail dans leurs contributions. Pour la majorité des 29 pays qui ont présenté des rapports, l'environnement a pris beaucoup d'importance au cours des dernières décennies, à la suite d'évolutions de l'industrie de l'uranium. Ces évolutions comprennent : la fermeture de nombreuses usines de production d'uranium au cours des 15 dernières années ; le durcissement des exigences imposées aux nouvelles installations qui doivent désormais obtenir des autorisations environnementales dans de nombreux pays ; et les travaux de réaménagement envisagés pour une multitude de sites anciens dont la désaffectation est intervenue à une période où les dispositions relatives au démantèlement et au réaménagement des sites étaient insuffisantes.

Études d'impact sur l'environnement

En Australie l'Environmental Protection Act de 1974 prévoit une étude d'impact sur l'environnement pour toute décision du gouvernement fédéral. C'est ainsi que l'Olympic Dam Project a été soumis à un processus complet d'évaluation environnementale.

Le *Canada* s'est récemment doté d'une nouvelle législation intitulée Loi canadienne sur l'évaluation environnementale. Cette loi remplace le « Processus d'évaluation et d'examen en matière d'environnement », qui remonte au milieu des années 70. Le nouveau processus d'évaluation environnementale prévoit une description détaillée de chaque projet par l'entreprise minière, suivie d'une enquête publique réalisée par une commission nommée à cet effet avant la décision des pouvoirs publics d'approuver ou non le projet. À l'heure actuelle, six nouveaux projets d'exploitation d'uranium au Saskatchewan font ou ont fait l'objet d'un examen par une commission indépendante conformément aux Décret sur les Lignes directrices visant le processus d'évaluation et d'examen en matière d'environnement. En 1995, les énoncés des incidences sur l'environnement des projets de Lake Cigar et de McArthur River ainsi que du projet modifié du Midwest joint venture ont été soumis à examen. Les enquêtes publiques sur les projets de Cigar Lake et de McArthur River ont commencé en septembre 1996. L'examen du projet de McArthur s'est terminé à la fin de 1996, et la commission a rendu son rapport au gouvernement à la fin du mois de février 1997. Cette commission recommandait d'autoriser la poursuite du projet à certaines conditions.

Maîtrise des rejets

Le *Brésil* a entrepris une étude approfondie des rejets d'effluents des opérations d'exploitation et de traitement. Ce pays a pris des mesures pour combattre la pollution de l'eau et les émissions de radon et de poussières dans l'air. À cet effet, toutes les données de surveillance nécessaires sont recueillies à intervalles réguliers dans un rayon de 20 km autour du complexe de Poços de Caldas.

La *Chine* contrôle la teneur de différents radionucléides dans les effluents gazeux et liquides de ses mines et usines de traitement d'uranium : uranium, thorium-230, radium-226, radon-222, polonium-210 et plomb-210.

Parmi les mesures adoptées à la mine de Fe en *Espagne* pour lutter contre la pollution, on peut citer la surveillance des effluents atmosphériques et liquides après neutralisation, le stockage des résidus dans un bassin de décantation et la stabilisation du sol afin de maîtriser l'érosion. Des spécialistes et laboratoires de la compagnie espagnole des combustibles nucléaires, ENUSA, assurent ces opérations de surveillance.

En *Fédération de Russie*, l'entreprise minière et chimique de Priargoun exploite un complexe minier avec installation de traitement à une distance de 10 à 20 km de la ville de Krasnokamensk dans la région de Tchita, en Sibérie. Le laboratoire de l'entreprise contrôle les rejets dans l'atmosphère et dans l'eau. Cette surveillance concerne les émissions de radon des résidus de traitement, des minerais pauvres et des stériles. La reconstruction du bassin de décantation des résidus de traitement devait être terminée en 1998. Les deux principaux problèmes d'environnement qui existent actuellement à Priargoun sont l'accumulation croissante des déchets radioactifs liquides et solides et la contamination progressive des réseaux hydrographiques naturel, superficiel et souterrain, qui menacent les réserves d'eau potable.

À la mine de Rössing en *Namibie*, la poussière pose un problème, étant donné les conditions de sécheresse du désert du Namib. Plusieurs procédures ont été prévues pour surmonter ce problème. Les roches abattues et les voies de desserte sont aspergées d'eau. Seul le forage humide est autorisé, et le minerai est arrosé au niveau du concasseur primaire. Les cabines de tous les engins mobiles sont pourvues de climatiseurs et de filtres à poussière. Le personnel qui travaille dans des zones poussiéreuses porte des masques respiratoires ou des casques « Airstream ». Première source de poussières, la surface du bassin de décantation des résidus de traitement est protégée en permanence contre l'érosion. Dans cet environnement très sec, il est primordial de bien gérer les ressources en eau, à savoir d'économiser l'eau et de la recycler. Près de 60% environ de l'eau utilisée par la mine sont recyclés. On a pris des mesures pour interdire les suintements d'eau hors des bassins de décantation des résidus afin de prévenir toute contamination de l'eau souterraine naturelle. Le dioxyde de soufre étant le plus gros polluant atmosphérique rejeté par l'installation, plusieurs détecteurs ont été installés autour de la mine afin d'en détecter les émissions.

En *Ouzbékistan*, le Combinat minier et métallurgique de Navoi met au point des technologies originales de lixiviation in situ qui utilisent de très faibles concentrations d'acide sulfurique, ce qui permet de réduire au minimum la contamination éventuelle des nappes d'eau souterraines.

Au *Portugal*, trois mines démantelées font l'objet de contrôles environnementaux, à savoir des prélèvements de sol, de sédiments et de végétation permettant de surveiller la qualité de l'air et les effluents miniers.

La *République tchèque* surveille les émissions dans l'atmosphère et des rejets des eaux d'exhaure et des eaux usées. Les émissions dans l'air des mines d'uranium et des installations de traitement sont si faibles qu'elles avoisinent les limites décelables.

La *Roumanie* utilise notamment des usines de traitement de l'eau pour maîtriser les rejets et empêcher toute contamination de l'environnement. Récemment, ce pays a entrepris d'augmenter la capacité des bassins de décantation des résidus de traitement et de fermer les installations de stockage des minerais sur divers sites.

Sûreté radiologique

Le *Brésil* a évalué les différentes voies d'exposition propres à l'exploitation et au traitement de l'uranium afin de déterminer l'impact radiologique des doses individuelles.

Au Saskatchewan (*Canada*), une nouvelle technologie d'extraction à distance est actuellement mise au point pour extraire du minerai à forte teneur des mines souterraines. Cette technologie repose sur l'extraction du minerai d'uranium par foration de trous verticaux aveugles, abattage à distance du minerai ou abattage par jet hydraulique à très haute pression, méthodes qui font toutes appel à un équipement télécommandé. Grâce à cette technologie, tous les ouvriers travailleront à distance du gisement, loin des zones où ils seraient exposés à des doses élevées de rayonnements. Une autre technologie nouvelle, qui est envisagée au Saskatchewan, consiste à éliminer les résidus sous forme d'une pâte contenant une proportion plus forte de solides (environ 50% de solides). Ces résidus pâteux peuvent ensuite être stockés sous l'eau, ce qui permet d'atténuer l'exposition aux rayonnements.

L'*Estonie* a évalué les doses individuelles imputables aux résidus de traitement sur le site de l'usine fermée de Sillamäe. Le radon est la principale source de rayonnements, mais les doses annuelles sont relativement faibles puisqu'elles ne dépassent pas 0.2 mSv.

Le *Gabon* a introduit un système de surveillance radiologique de l'environnement autour du complexe minier de Mounana. Plusieurs dosimètres ont été installés dans les villages et les villes alentours ainsi qu'en des zones plus éloignées de la mine. Une surveillance des eaux souterraine et de l'eau potable est également en place.

L'*Inde* a installé dans ses mines des systèmes de ventilation permettant de maintenir les concentrations en radon et en poussière dans les limites autorisées. Tout le personnel qui travaille dans des zones poussiéreuses est équipé de protections, telles que des masques respiratoires.

À la mine de Rössing, en *Namibie*, les concentrations de radon et de thoron sont régulièrement surveillées sur le site même de la mine et dans les alentours. Les études diverses qui ont été effectuées ne révèlent pas de concentrations élevées de radon ni de thoron. Les employés qui travaillent à la production à Rössing reçoivent en moyenne une dose de 4,5 mSv/an, très inférieure à la nouvelle recommandation de la CIPR qui est de 20 mSv/an.

Le *Niger* a développé un programme de surveillance radiologique consistant à mesurer les doses de rayonnements reçues par les employés et la radioactivité dans l'environnement. Ce programme comporte également des analyses d'aliments comme les carottes, le chou et les tomates en différents sites de production.

L'entreprise d'État Kirovgeologija en *Ukraine* surveille actuellement les émanations de radon dans l'environnement autour des installations d'extraction et de traitement de l'uranium. Cet organisme a entrepris de comparer les résultats aux normes internationales afin de déterminer le système de surveillance, passif ou actif, qui produit les meilleurs résultats.

Démantèlement et réaménagement des sites

En *Allemagne*, l'ancienne société mixte germano-soviétique SDAG Wismut a produit 216 000 tonnes d'uranium de 1946 à 1990. Après l'arrêt de la production commerciale d'uranium en 1990, la superficie des mines et des usines de traitement détenues par la société Wismut était de 37 km², contre une superficie totale de 240 km² pour l'ensemble des sites miniers. En 1991, les

pouvoirs publics allemands ont lancé un programme destiné à évaluer l'ampleur des opérations d'assainissement nécessaires.

La société Wismut GmbH est chargée du démantèlement et du réaménagement de ses sites et installations. Les demandes d'autorisations doivent être soumises aux autorités pertinentes du Land (en l'occurrence la Saxe ou la Thuringe). On estime à 130 millions de DM le coût total du démantèlement et du réaménagement de toutes les installations appartenant à la société Wismut. De plus, ce travail devrait durer environ 15 ans.

Parmi les principaux projets de réaménagement, on peut citer :

- les mines à ciel ouvert, qui ont produit environ 600 millions de m³ de minerai et de stériles. La mine de Lichtenberg représente à elle seule 160 millions de m³. Avant 1990, environ 80 millions de m³ avaient été remblayés. Une centaine de millions de m³ de résidus sont encore entassés à proximité de Ronneburg. La majeure partie de ces déchets seront remblayés dans la fosse ;
- les mines souterraines, qui ont produit environ 300 millions de m³ de matériaux, dont la moitié sont des minerais. Dans le district de Aue, il reste une quarantaine de versos représentant un volume total de 45 millions de m³ pour une surface de 3 km². Un vaste programme de stabilisation, de remodelage, de couverture et de restauration du couvert végétal est en cours ;
- les résidus de traitement, qui proviennent des deux grandes usines classiques de Crossen et Seelingstädt. À Crossen, le minerai de l'Erzgebirge était traité par lixiviation alcaline, et les résidus stockés dans un bassin situé à proximité. Ce bassin, de 2 km² environ, contient près de 45 millions de m³ de résidus et 6 millions de m³ d'eau. À Seelingstädt, les minerais provenant essentiellement du district de Ronneburg étaient lixiviés par voies alcaline et acide. Les résidus étaient stockés à proximité dans deux bassins d'une contenance de 107 millions de m³ sur une superficie de 3,4 km².

Des limites de doses ont été établies pour les résidus après la période de réaménagement. Pour le public en général, la dose imputable aux activités antérieures doit être inférieure à 1 mSv/an. Des critères spécifiques ont également été élaborés.

L'Argentine s'apprête à démanteler et à fermer le centre production de Malargue, dans la province de Mendoza. Il s'agit d'une procédure longue comportant plusieurs étapes, la planification, l'obtention d'autorisations, et la réalisation des opérations de fermeture suivies de contrôles sur 20 ans.

L'Australie s'est fixé comme priorité de recherche l'adoption et l'établissement de critères de fermeture pour les mines d'uranium. Il s'agit notamment d'établir des normes permettant d'évaluer les sites miniers remis en état ou sinon de préciser les travaux de réaménagement à entreprendre et les durées de surveillance des installations. Garantir l'innocuité pour l'environnement des techniques de stockage final des résidus constitue également une priorité.

La *Bulgarie* a décidé de fermer toutes ses mines d'uranium, jugées non rentables dans les conditions économiques actuelles. Le plan de démantèlement et de réaménagement des sites de mines et d'usines de traitement est en cours. Dans le cadre de cette activité, 128 études, notamment radioécologiques et hydrologiques, ont été menées par des équipes d'experts.

Le Canada dispose d'un nouveau *Cadre d'action pour la gestion des déchets radioactifs*. Les producteurs et détenteurs des déchets sont, conformément au principe pollueur-payeur, responsables du financement, de l'organisation, de la gestion et de l'exploitation des installations de stockage, ou autres, nécessaires pour éliminer leurs déchets. Conformément à la *Loi sur le contrôle de l'énergie atomique*, les producteurs d'uranium sont tenus de constituer des garanties financières en prévision du démantèlement de leurs installations et sites de production et cela, dès le début de l'exploitation. On a dénombré plus d'une dizaine de dispositifs permettant d'obtenir ces garanties financières. En juin 1996, une Commission d'évaluation environnementale a présenté au ministre de l'Environnement ses recommandations concernant le démantèlement du site de stockage des résidus d'uranium du lac Elliot. Ces recommandations concordent avec les propositions des sociétés Rio Algom Limited et Denison Mines Limited. Dans sa réponse, en avril 1997, le gouvernement fédéral a approuvé la plupart des recommandations de la Commission.

Depuis 1986, la *Chine* a démantelé six mines d'uranium et trois usines de traitement. La plupart des projets de démantèlement comportent essentiellement le traitement des minerais pauvres et des stériles. En 1993, les pouvoirs publics ont publié une « réglementation technique concernant la gestion environnementale et le démantèlement des installations d'extraction et de traitement de l'uranium ».

En *Espagne*, la réglementation dispose qu'avant de mettre fin à ses activités de production, le propriétaire d'une installation doit présenter un *plan de démantèlement* au ministère de l'Industrie et de l'Energie. Ce plan doit contenir une description détaillée des critères appliqués pour le démantèlement, une analyse de l'impact radiologique sur le public et un programme de surveillance. Le site de Lobo-G, dans la province de Badajoz, qui comportait une mine à ciel ouvert, une usine de traitement et des bassins de décantation des résidus, a été fermé et réaménagé.

L'usine de traitement d'uranium d'Andujar, dans la province de Jaén, a également été fermée. Elle se compose de l'usine de traitement elle-même et de bassins de décantation des résidus. Après le démantèlement et le réaménagement du site en 1994, un programme décennal de surveillance a été mis en place à l'usine de concentrés d'uranium d'Andujar en 1995. Le Plan général de réaménagement concernait également plusieurs petites mines abandonnées exploitées dans les années 50 et 60. Le démantèlement de la verse et de l'usine de traitement d'ENUSA à La Haba, dans la province de Badajoz, a commencé et devrait s'achever au premier trimestre 1997. Pour la mine actuellement en exploitation de Fe, dans la province de Salamanque, deux projets de démantèlement ont été présentés au Conseil de la sûreté nucléaire. Le premier concerne l'ancienne usine de traitement d'Elefante et le deuxième les tas de lixiviation. Les autorités ont donné leur accord pour le réaménagement de 19 mines d'uranium anciennes exploitées des années 1950 à 1981.

Aux *États-Unis*, les activités de production d'uranium ont laissé en héritage un grand nombre de mines et d'usines dont beaucoup devraient être démantelées, fermées et/ou réaménagées. Dans ce pays, la réglementation et le contrôle des sites miniers des usines de traitement incombe à différentes autorités publiques. Au total, 26 usines de traitement d'uranium travaillent pour la production commerciale. L'une d'entre elles est exploitée, cinq autres sont en réserve et les vingt dernières se trouvent à diverses étapes du démantèlement. Par ailleurs, 24 sites de traitement d'uranium, qui produisaient de l'uranium pour les programmes publics avant 1970, sont inactifs. Aux termes de l'Uranium Mill Tailings Remedial Action Program (UMTRAC), l'État fédéral doit assumer le coût du réaménagement de ces 24 sites. La responsabilité du démantèlement et du réaménagement des autres usines de traitement dépend de la finalité de la production d'uranium. En effet, les usines qui produisaient de l'uranium à des fins commerciales sont à la charge des propriétaires et exploitants. Sur les 20 usines en cours de démantèlement, 13 produisaient de l'uranium à la fois pour les programmes publics et civils et leurs résidus sont mélangés. Conformément au Titre X de la Loi sur la politique énergétique, l'État doit rembourser sa quote-part des coûts du réaménagement de ces centres, le reste

étant à la charge de l'exploitant. Le rapport intitulé *Decommissioning of US Uranium Production Facilities*, (DOE-ERA 0592, Fév. 1995), évalue le coût du démantèlement de 25 usines de traitement classiques et de 17 sites non classiques aux États-Unis.

La réglementation des usines de traitement de l'uranium relève aux États-Unis de la Nuclear Regulatory Commission mais celle-ci n'a pas compétence pour les mines d'uranium. La fermeture et le réaménagement des sites miniers sont soumis à la réglementation particulière à chaque État qui ne distingue pas les mines d'uranium des autres types de mines. Dans la plupart des États, il existe des lois relatives aux mines abandonnées et une réglementation concernant les opérations de réaménagement. Les mines situées sur le domaine public fédéral relèvent de la législation fédérale concernant la gestion des sols qui s'applique également au réaménagement des sites miniers.

En *Fédération de Russie*, les travaux de réaménagement sont en cours sur les sites des deux mines d'uranium souterraines épuisées de Beshtau (fermée en 1975) et Byk (fermée en 1990) qui appartiennent à l'entreprise d'État de Lermontov « Almaz ». Ces deux mines ont produit au total 5 700 tonnes d'uranium. De 1965 à 1989, le minerai était traité par la méthode traditionnelle de lixiviation à l'acide sulfurique, mais aussi par lixiviation en place et en tas. Des années 80 jusqu'en 1991, le minerai provenant du gisement de Vatutinskoïe, en Ukraine, et du gisement de Melovoïe, au Kazakhstan, était également traité à l'usine de Lermontov, après quoi la production d'uranium a cessé. Depuis, l'usine a servi à traiter d'autres types de minerais. Le laboratoire de l'entreprise surveille actuellement les rejets de la zone contaminée. Les contrôles de l'air concernent les émissions de radon, de polonium-210 et d'isotopes du radium, et les contrôles des eaux superficielles, les nucléides de l'uranium et du thorium, le radium-226 et le polonium-210. Le démantèlement et le réaménagement du complexe minier sont en cours. Le réaménagement des 36 hectares de résidus miniers de Beshtau est presque achevé et celui des 18 hectares de vers de Byk est en cours et devrait s'achever en 1999.

À Lermontov, le réaménagement et le démantèlement de 118 hectares de résidus de traitement a débuté en 1996 et devrait se terminer en 2005. Un contrôle radiologique de la région a été effectué en 1996 sur une surface de 3 200 hectares. Il est prévu de réaménager les bâtiments de l'usine de traitement et la zone alentour. Ces activités sont remboursées par l'État et réalisées conformément aux instructions des autorités publiques.

De 1957 à 1965, la *Finlande* a extrait de l'uranium des mines de Lakeakallio et de Paukkanvaara sur une petite échelle. Les fosses et les tas de résidus ont été recouverts. Le Centre finlandais de sûreté radiologique et nucléaire surveille les anciennes mines depuis 1974.

En *France*, la mine du Bernardan-Jouac est en activité, tandis que des travaux de réaménagement ont été entrepris à Lodève, St Pierre du Cantal, Bertholène, La Crouzille Bessines et L'Écarpière. Pour les mines de St Hippolyte, Lachaux, Rophin, Gueugnon, Bois Noirs St Priest, Le Cellier, La Ribière et La Commanderie, les travaux de réaménagement sont déjà achevés, et la surveillance radiologique se poursuit. En 1994, Cogéma a consacré 129 millions de francs français au réaménagement des sites miniers. La politique en la matière de cette entreprise est de respecter toutes les lois et tous les règlements établis par sa Direction Qualité-Sûreté-Environnement. C'est le Service Environnement des sites miniers de la Branche Uranium qui effectue ce travail. Les DRIRE (Directions Régionales de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement) le contrôlent. Les travaux de réaménagement nécessaires sur chaque site dépendent de l'activité minière antérieure et des conditions locales.

Avant de remettre en état le site, on effectue une étude approfondie. À l'issue de cette étude, tous les intéressés, dont les populations résidant à proximité, parviennent à un accord concernant la procédure de fermeture. Les mines à ciel ouvert peuvent être réaménagées en réservoirs d'eau pour l'agriculture, en centres d'entraînement à la plongée ou en réserves de pêche, suivant les besoins

locaux. Ces travaux de réaménagement sont précédés d'une étude de la sûreté globale et radiologique site. Lorsqu'il s'agit de mines souterraines, on commence par fermer les accès pour éviter tout accident. Lorsque l'on cesse de pomper et que le niveau des eaux dans la mine s'élève, il s'agit de surveiller et de limiter les effluents pour empêcher toute atteinte à l'environnement. L'activité de réaménagement la plus importante reste toutefois le stockage des résidus de traitement.

Le gouvernement *hongrois* a décidé de fermer la mine de Mecsek à la fin de l'année 1997. Il existe un plan de démantèlement définissant la méthodologie des travaux de réaménagement du site de 65 km². Ce programme comporte des études du sol, des opérations de drainage, la couverture des tas de lixiviation et des bassins de décantation retenue des résidus de traitement ainsi que l'aménagement local, entre autres. Les activités de fermeture, de réaménagement et d'aménagement local devrait prendre fin en 2002. Elles coûteront au total de 80 à 85 millions de dollars des États-Unis.

Au *Japon*, les déchets résultant des activités de production d'uranium antérieures ont été surveillés et traités conformément à tous les règlements en vigueur.

Le *Kazakstan* compte 15 gisements d'uranium épuisés, fermés ou en réserve pour une éventuelle exploitation future. Les gisements d'uranium renfermés dans des grès se trouvent dans des bassins sédimentaires qui contiennent également d'importants volumes d'eaux souterraines. La contamination des eaux souterraines par les gisements d'uranium, qu'elle soit naturelle ou résulte de l'extraction par lixiviation in situ, a conduit à la création d'une zone d'exclusion de 150 km sur 150 km. Il est interdit de prélever dans cette zone de l'eau destinée à la consommation humaine. Après 40 ans de production d'uranium par des méthodes classiques, 250 millions de tonnes environ de stériles et de résidus de traitement se sont accumulées. Dans les années 90, des études systématiques des résidus radioactifs miniers ont été entamées. En 1996, la première étape d'un « Assessment of Urgent Measures to be taken for Remediation of Uranium Mining and Milling in the Commonwealth of Independent States » (Étude des mesures d'urgence à prendre pour décontaminer les mines et les résidus du traitement de l'uranium dans la Communauté des États indépendants) a été entamée dans le cadre du programme d'assistance de l'Union européenne en faveur des pays de la communauté d'États indépendants (TACIS). Cent sites de stockage de déchets radioactifs ont ainsi été répertoriés. Une étude sera effectuée sur cinq d'entre eux afin d'en évaluer l'incidence sur les localités voisines. En fonction des résultats des troisième et quatrième étapes de l'évaluation, on développera un plan de réaménagement pour le Kazakstan.

En *République tchèque*, les opérations intensives de lixiviation in situ menées pendant plus de 20 ans ont contaminé les eaux souterraines à proximité du gisement de Stráz, au nord de la Bohême. Actuellement, deux aquifères de 32 km² au total sont concernés. En 1996, les pouvoirs publics ont donné leur accord à un programme de réaménagement. Ce programme comporte notamment l'extraction des sels solubles des aquifères contaminés. Après vingt ans de lixiviation in situ, les opérations de réaménagement entreprises doivent permettre progressivement :

- d'abaisser la teneur en solides dissous de l'aquifère cénomanien à une valeur permettant de limiter les risques de polluer l'aquifère turonien, qui constitue une réserve substantielle d'eau potable ;
- d'abaisser la teneur en solides dissous de l'aquifère turonien à des niveaux conformes aux normes de potabilité de l'eau en vigueur en République tchèque ;
- de rétablir les écosystèmes situés au-dessus des champs de puits.

L'entreprise tchèque DIAMO conduit actuellement un grand nombre de chantiers de réaménagement et de démantèlement, notamment :

- le démantèlement des mines de Hamr, Olsí, Jasnice-Pucov, Licomerice-Brezinka, Vítkov II et Zadní-Chodov ;
- le démantèlement de l'usine de traitement chimique de Stráz ;
- le réaménagement des bassins de décantation des résidus à Stráz, Bytíz-Prábram, et à Mydlovary (MAPE) ;
- le traitement des eaux des bassins de décantation à Prábram et des eaux d'exhaure à Zadní-Chodov et à Okrouhlá Radoun ;
- la remise en culture de la verse de Jeroným Abertamy dans la région de Jáchymov ; et
- la construction d'une usine de traitement des eaux d'exhaure à Horní Slavkov.

La *Slovénie* a préparé, pour le centre de production d'uranium de Zirovsky vrh, un plan de démantèlement qui prévoit une protection permanente de la biosphère contre les conséquences de l'exploitation minière.

En *Suède*, la mine d'uranium de Ranstad a été réaménagée au début des années 90. La mine à ciel ouvert a été convertie en plan d'eau destiné à la baignade et au canoë. Les stériles ont été recouverts d'une protection de 1,6 mètre d'épaisseur constitué de moraines et autres matériaux. Certains des constituants de couverture sont perméables à l'air, ce qui pose un problème en raison de la possibilité d'une réaction entre l'oxygène et le soufre, produisant de l'acide sulfurique capable d'entraîner les métaux lourds dans les eaux usées. La mine de Ranstad est entrée dans la phase de surveillance consécutive au réaménagement du site.

L'*Ukraine* a lancé des programmes de réaménagement et de remise en culture de plusieurs mines souterraines et à ciel ouvert.

Réglementations

En *Allemagne*, le réaménagement des mines et des usines de traitement de Wismut est régi par la Loi minière fédérale, la Loi sur l'énergie atomique, la Loi fédérale sur la protection contre les émissions, la Loi sur la responsabilité en matière d'environnement et le Décret sur la radioprotection. La législation relative à la radioprotection a été élaborée dans l'ex-République démocratique allemande. Cette législation a été reprise dans le traité de réunification de l'Allemagne et est toujours en vigueur pour le réaménagement des mines d'uranium dans la partie orientale du pays.

En *Australie*, l'extraction d'uranium est réglementée par la législation fédérale, la législation du Territoire du Nord et de l'État d'Australie méridionale. Les principales lois fédérales sont les suivantes : l'Atomic Energy Act de 1953 et ses amendements, l'Environmental Protection (Impact of Proposals) Act de 1974 et l'Environmental Protection (Nuclear Codes) Act de 1978.

En *Espagne*, la Loi 25/1964 sur l'énergie nucléaire régit tous les aspects de l'extraction de l'uranium. La Loi 15/1980 portant création du Conseil de la sûreté nucléaire définit les responsabilités de cette autorité. Le Décret 2869/1972 relatif au règlement sur les installations nucléaires et radioactives classe les usines de traitement de minerai d'uranium dans les installations radioactives de la première catégorie. Le Règlement relatif à la protection contre les rayonnements ionisants (Décret

53/1992) établit les normes fondamentales applicables à la protection radiologique des travailleurs et du public en général. Les Directives EURATOM n°80/836 et n°84/467 ont été intégrées à la législation espagnole par le Décret 53/1992.

Aux *États-Unis*, la Public Law 95-804 de 1978 intitulée Uranium Mill Tailings Radiation Control Act (UMTRCA) réglemente l'assainissement et la stabilisation des résidus d'extraction de l'uranium sur les sites de traitement après l'arrêt de l'exploitation. L'Environmental Protection Agency (EPA) établit les normes et directives nécessaires à l'application de cette loi qui sont contenues dans le US Federal Law Health and Environmental Protection Standards for Uranium and Uranium Mill Tailings (40CFR Part 192). Le Titre X de l'Energy Policy Act de 1992 définit les compétences et les conditions d'obtention de l'aide fédérale pour le démantèlement et l'assainissement des sites où l'uranium était auparavant produit pour des programmes civils et publics.

La fermeture et le réaménagement des mines d'uranium sont réglementés dans la plupart des États par des lois relatives aux mines abandonnées et aux travaux de réaménagement. Le réaménagement des mines d'uranium appartenant au domaine public fédéral relève de l'Office of Surface Mining Reclamation and Enforcement, du Department of Interior ou du Bureau of Land Management aux termes de la Federal Land Policy and Management Act de 1976 (Public Law 94-579).

En *Finlande*, l'extraction est régie par la Loi minière de 1965 ou par la Loi de 1966 sur les activités extractives terrestres. La Loi de 1987 sur l'énergie nucléaire réglemente les activités liées à l'uranium. Ces lois comportent des dispositions traitant de l'ouverture, de l'exploitation et de la fermeture des mines d'uranium. La Loi de 1992 sur la procédure de délivrance des autorisations environnementales impose de nouvelles exigences.

En *France*, les gisements de minéraux dans le sous-sol appartiennent à l'État. L'État peut néanmoins en transférer l'exploitation à des entreprises minières. Le Code minier de 1955 mis à jour en 1994 décrit la procédure de fermeture d'une mine. Les autorités régionales sont chargées de surveiller ces opérations et de s'assurer qu'elles sont réalisées conformément à la réglementation. L'exploitation minière et le réaménagement des mines doivent respecter les Lois sur l'environnement de 1977 et de 1996.

Les dispositions législatives et réglementaires en vigueur en *Hongrie* concernant l'extraction de l'uranium sont la Loi minière n°XLVIII/1993, le Règlement du gouvernement n°152/1995 sur l'environnement et la Loi de 1996 sur l'Énergie Atomique. Les réglementations s'inspirent du rapport technique n°362 de l'AIEA intitulé « *Decommissioning of Facilities for Mining and Milling of Radioactive Ores and Closeout of Residues* » et du Rapport de l'Institut national de radiobiologie et de santé.

Le dispositif législatif *japonais* pertinent comprend : la Loi et les Règlements sur la sûreté des mines, la Loi réglementant les matières brutes, les combustibles nucléaires et les réacteurs et la Réglementation sur les matières brutes nucléaires et l'exploitation des usines de traitement des matériaux pour combustibles nucléaires. La Loi sur la sûreté des mines dispose que la partie responsable doit éviter toute pollution par les stériles et les résidus. La Loi sur le contrôle de l'énergie atomique s'applique au traitement de l'uranium et exige l'adoption de mesures de sécurité au moment de l'élimination des résidus pour éviter toute contamination de l'environnement.

Au *Kazakstan*, deux lois réglementent les activités liées à l'uranium : la Loi sur l'utilisation de l'énergie atomique et le Projet de loi sur la gestion des déchets radioactifs.

En *Ukraine*, la Loi sur l'extraction et le traitement du minerai d'uranium régit l'extraction et le traitement, la sécurité du public et la protection de l'environnement, les activités dans ce domaine ainsi que les méthodes et procédures applicables en présence de radioactivité.

Divers

En Finlande, se déroule actuellement un programme international d'étude du transport des radionucléides au voisinage d'un gisement d'uranium situé à Palmottu, dans le sud-ouest du pays. Ce gisement se trouve dans une ancienne zone de prospection où les puits de forage, toujours ouverts, se prêtent à la réalisation d'études hydrogéologiques et géochimiques. Ce programme vise avant tout à étudier les effets sur l'environnement d'un gisement d'uranium à l'état naturel.

Le *Kazakstan* a lancé en 1997 le projet de coopération technique sur les technologies modernes d'extraction d'uranium par lixiviation in situ en coopération avec l'AIEA. Ce projet doit permettre de trouver des moyens de réduire au minimum l'impact sanitaire et les incidences sur l'environnement de l'extraction de l'uranium par lixiviation in situ et, notamment, de maîtriser, voire d'éviter, la contamination des aquifères qui renferment le minerai d'uranium. Les enseignements tirés du projet seront d'une grande utilité lorsqu'il s'agira d'autoriser l'exploitation des installations de production d'uranium par la méthode de lixiviation in situ.

V. RAPPORTS NATIONAUX

Cette partie du rapport est consacrée aux contributions nationales relatives aux activités environnementales liées à la production d'uranium qu'ont communiquées les organismes publics officiels ou les membres du Groupe conjoint AEN/AIEA sur l'uranium (annexe 3). Nous tenons à souligner que ces rapports ne décrivent pas toutes les activités actuelles de chacun de ces pays ni tous les sujets. En outre, il convient de signaler que les frontières nationales indiquées sur les cartes ne correspondent pas nécessairement aux frontières officielles reconnues par les pays Membres de l'OCDE ou par les États membres de l'AIEA et n'ont donc qu'une fonction illustrative.

• Afrique du Sud •

Contexte

L'exploitation minière remonte assez loin dans l'histoire de l'Afrique du Sud. Aujourd'hui, les industries extractives forment l'un des piliers de l'économie du pays. La présence d'uranium dans des minerais d'or de Witwatersrand a été décelée en 1927. Son absence de valeur commerciale l'a relégué au rang de curiosité scientifique, jusqu'à ce qu'au milieu des années 40, la recherche d'uranium à travers le monde remette Witwatersrand sur le devant de la scène. La première usine d'uranium a été mise en service en 1952. La production a augmenté rapidement jusqu'en 1959, époque à laquelle 26 mines alimentaient en minerai 17 usines de traitement ayant une production totale de 4 954 tonnes d'uranium. La production a ensuite décliné avant de se redresser à la suite de la crise pétrolière survenue dans les années 70 pour culminer à plus de 6 000 tonnes d'uranium par an au début des années 80. L'effondrement du marché de l'uranium a ralenti la production. Finalement, il ne restait plus en 1996 que cinq usines en activité produisant 1 436 tonnes d'uranium. La fermeture d'une autre usine au début de l'année 1997 a provoqué une nouvelle chute de 20% de la production cette même année.

Depuis les origines de la production de l'or en 1886, un total de 5,6 milliards de tonnes de minerai ont été traités et déposés dans des bassins de décantation le long d'un arc de 400 kilomètres bordant bassin de Witwatersrand au nord-ouest. L'uranium est fréquemment associé au minerai d'or, mais ce minerai n'a pas été systématiquement exploité pour son uranium en raison des faibles teneurs en cause. Au total, quelque 732 millions de tonnes de minerai d'or ont servi à la production d'uranium ; ce minerai provenait en majorité des terrains aurifères de West Rand, West Wits Line, Klerksdorp et Welkom situés dans l'ouest et le sud-ouest du bassin. L'uranium est obtenu presque exclusivement en tant que sous-produit de l'or, seules les mines Afrikander Lease et Beisa sont principalement vouées à la production d'uranium. Aucune de ces deux installations ne s'est

révélé rentable. Dans les années 70, trois usines de traitement ont été créées en vue d'extraire l'or, l'uranium et la pyrite des résidus d'extraction déjà entreposés en surface. Deux d'entre elles ont arrêté leur production à la fin des années 80 et au début des années 90. La troisième installation, ERGO, ne produit à l'heure actuelle que de l'or et de la pyrite.

La société Palabora, implantée dans la Province septentrionale, est la seule à produire de l'uranium en dehors du bassin de Witwatersrand. L'uranium tiré de ce site est un sous-produit de l'exploitation d'un gisement de cuivre (carbonatite) à ciel ouvert. Les teneurs sont extrêmement faibles, mais comme l'extraction d'uranium à partir des concentrés de minéraux lourds se fait à grande échelle, elle est économiquement viable sur le plan économique.

Cadre juridique

Deux lois seulement réglementent spécifiquement les rayonnements ionisants : la Loi 131 de 1993 sur l'énergie nucléaire et la Loi 15 sur les substances dangereuses de 1973. Cependant, d'autres lois font référence aux substances radioactives. Celles qui ont des conséquences pour l'extraction et le traitement de l'uranium sont principalement la Loi 50 de 1991 sur les substances minérales, modifiée par la Loi d'amendement 103 de 1993 sur les substances minérales et la Loi 63 de 1977 sur la santé. D'autres lois se rapportent aux activités extractives en général, sans viser expressément l'extraction d'uranium : la Loi 54 de 1956 sur l'eau, la Loi 45 de 1965 sur la prévention de la pollution atmosphérique, la Loi 43 de 1983 sur la préservation des ressources agricoles, la Loi 73 de 1989 sur la protection de l'environnement et la Loi 29 de 1996 sur l'hygiène et la sécurité dans les mines. Il convient de noter que dans le cadre de la nouvelle situation politique de l'Afrique du Sud, toutes les lois sont ou seront révisées. Actuellement, la Loi sur l'énergie nucléaire, la Loi sur les substances minérales et la Loi sur la protection de l'environnement sont en cours de révision.

Certaines parties de la Loi sur les substances dangereuses stipulent que les substances radioactives peuvent être déclarées comme « substances dangereuses du groupe IV » et entrent ainsi dans le champ de cette loi. Toutefois, jusqu'à présent, le ministre de la Santé publique et du Développement social ne s'est pas prévalu de ces dispositions, aussi l'extraction et le traitement de l'uranium ne sont-ils pas soumis aux obligations réglementaires de cette loi.

La Loi sur l'énergie nucléaire porte création de la Société de l'énergie atomique d'Afrique du Sud (*Atomic Energy Corporation of South Africa Limited – AEC*) et du Conseil de la sûreté nucléaire (*Council of Nuclear Safety – CNS*), qui réglemente l'autorisation et la sûreté des activités nucléaires. L'AEC n'est pas chargé de réglementer l'exploitation des mines d'uranium ni les installations de traitement. Il fournit une assistance technique, une aide à la recherche et des conseils d'experts aux mines, dans les domaines de la surveillance des rayonnements, du démantèlement et de la décontamination.

Le CNS était au départ un organe consultatif qui intervenait dans la procédure de délivrance des autorisations nucléaires assurée par l'AEC. L'amendement de la Loi sur l'énergie nucléaire, en date de 1988, a conféré au CNS un pouvoir de réglementation sur les installations et les activités nucléaires employant des matériaux source, qui appartenait précédemment à l'AEC. Sa mission première consiste à protéger la population contre les risques de dommages nucléaires. Toute activité d'extraction et de traitement du minerai d'uranium doit être autorisée par le CNS. Le permis stipule les conditions auxquelles ces activités peuvent être menées.

Les producteurs d'uranium agréés par le CNS doivent obligatoirement faire approuver un plan de démantèlement et de réaménagement spécifique du site concerné. Dès que ce plan est approuvé, la société est tenue de l'appliquer. Les lignes directrices du Ministère des Affaires minières et énergétiques requièrent que certaines informations soient fournies avec le plan, en particulier :

- une carte indiquant toutes les zones perturbées utilisées, précisant le type et la durée de l'utilisation ;
- un relevé des mesures radiologiques et une évaluation des risques potentiels ;
- une description détaillée de toutes les mesures et méthodes qui seront mises en œuvre au cours du réaménagement, comportant notamment des précisions relatives au personnel, à l'usine et au matériel, aux mesures correctrices et de surveillance et au recours à des entrepreneurs ;
- la durée prévue des travaux.

Il ne peut être dérogé aux obligations liées au permis que si le CNS a déclaré par écrit que le risque de dommages nucléaires ne peut pas dépasser les limites compatibles avec la santé et la sûreté ou si les objectifs de la loi sont effectivement atteints grâce à une autre législation en vigueur.

La Loi sur les substances minérales inclut des dispositions environnementales visant les activités extractives en général, qui s'appliquent intégralement à l'extraction d'uranium. La loi dispose que toute activité de prospection ou d'extraction est subordonnée au dépôt préalable d'un Rapport sur un programme de gestion de l'environnement (RPGE) au Ministère des Affaires minières et énergétiques, pour approbation. Il s'agit de s'assurer que l'activité est acceptable du point de vue de l'environnement. L'examen du RPGE est coordonné par le Ministère des Affaires minières et énergétiques, mais le Ministère de l'Agriculture, de l'Environnement, de l'Eau et des Forêts et le Ministère de la Santé publique et du Développement social prennent une part active au processus. Le RPGE doit décrire l'état de l'environnement avant l'exploitation minière, justifier et exposer le projet, fournir une évaluation écologique et un plan de gestion environnementale. Le RPGE ne doit pas décrire le projet dans ses moindres détails, mais en définir toutes les caractéristiques importantes, car une fois approuvé, il a force obligatoire. La fermeture définitive de l'exploitation ne sera officialisée que si l'exploitant a respecté les obligations inscrites dans le RPGE, tout au long de la mise en œuvre et du démantèlement.

Réflexions sur l'exploitation

Une entreprise d'extraction et de traitement de l'uranium débute par un programme de prospection qui détermine et délimite le corps minéralisé à exploiter. Ces activités ont toujours été réglementées par la Loi sur les substances minérales et les instruments qui l'ont précédée, et, dans le passé, la protection de l'environnement n'était pratiquement pas couverte par la législation. Cette situation a changé depuis que la nouvelle Loi sur les substances minérales et son amendement ont subordonné ces activités à l'approbation d'un RPGE. Il appartient au directeur régional compétent du Ministère des Affaires minières et énergétiques de fournir cette approbation. Afin d'éviter tout retard indu en attendant l'approbation, le directeur régional peut octroyer une autorisation temporaire pour permettre le démarrage des travaux, sous réserve de toutes conditions qu'il aura lui-même fixées. Il est encourageant de constater que les sociétés minières ont pris les devants en matière de gestion environnementale en établissant des programmes avant même l'entrée en vigueur de la loi.

La Loi sur les substances minérales exige également qu'un RPGE soit soumis avant le commencement de toute activité minière, pas uniquement l'extraction d'uranium. Dans ce dernier cas, le CNS doit délivrer un permis qui stipule les conditions auxquelles doivent répondre l'extraction et le traitement. Ces conditions insistent particulièrement sur la radioprotection de la population. La population est divisée en deux catégories : le personnel de la mine et des installations de traitement et les habitants établis à proximité de la mine. Des programmes de surveillance radiologique sont mis en œuvre dans la mine et les installations pour veiller à ce que la radioexposition des employés demeure en deçà des plafonds réglementaires. On a aussi pris des mesures destinées à réduire au minimum le risque d'exposition, telles que le remblayage des anciens gradins pour empêcher que les émanations de radon accumulées ne soient mises en circulation à l'intérieur du chantier d'exploitation en activité par le système de ventilation. L'AEC fournit une assistance technique complète dans ces domaines ainsi que des conseils d'experts couvrant la conception et la mise en œuvre de programmes de surveillance et de réduction des émissions. L'AEC prête également son concours dans l'évaluation des risques radiologiques.

L'exposition de la population aux dangers des rayonnements doit être évaluée pour chaque entreprise d'extraction et de traitement de l'uranium. Le CNS a fait paraître des directives visant ces évaluations. L'exposition peut résulter du transport aquatique ou atmosphérique. La présence de pyrite dans les bassins de décantation abaisse le pH et intensifie par conséquent la lixiviation de l'uranium et des métaux lourds. Les faibles teneurs en uranium dans les résidus ne posent pas de problème sérieux, mais le ruissellement superficiel est néanmoins canalisé par des digues et des polders, tandis que l'infiltration dans la nappe souterraine est réduite au minimum par des bassins d'évaporation. Les mines procèdent actuellement à des études de dépistage systématique destinées à évaluer les dangers que les rayonnements pourraient faire courir à la population. Ces études devaient être terminées à la fin de l'année 1998. Elles seront suivies par l'installation et la mise en service de systèmes de surveillance et de réduction des émissions.

Une troisième voie d'exposition de la population aux rayonnements a été signalée récemment. Les déchets d'acier provenant du démantèlement des usines de traitement de l'uranium ou des installations de lixiviation à l'acide sulfurique sont susceptibles d'être contaminés par des substances radioactives. Le CNS a publié des directives pour la classification et la manipulation de ces débris qui doivent être décontaminés avant d'être recyclés. L'AEC offre un service spécialisé en décontamination des matières radioactives à l'industrie minière, afin de l'aider à traiter ces déchets.

La formation de poussières volantes et l'érosion des vers à résidus sont des problèmes graves, auxquels on pallie par des programmes de restauration du couvert végétal destinés à les stabiliser. La restauration directe du couvert végétal représente la première étape, mais elle n'élimine pas l'acidité des vers. Afin de favoriser la croissance de la végétation sur les vers à résidus, celles-ci sont chaulées pour neutraliser l'acidité superficielle ou recouvertes d'une couche arable.

Le risque professionnel d'exposition aux rayonnements n'est pas limité à l'extraction et au traitement de l'uranium. La présence de monazite dans les sables à minéraux lourds et les gîtes de fluorite constitue un risque radiologique. L'exploitation de ces gisements s'accompagne de programmes de surveillance et de réduction des risques radiologiques pour le personnel. La monazite n'est pas extraite pour le moment. Des mesures spéciales ont cependant été mises en œuvre pour garantir la sûreté du stockage des résidus qui contiennent de la monazite, en vue d'en faciliter la récupération dans l'hypothèse d'une amélioration du marché.

L'Afrique du Sud ne dispose à ce jour que d'une expérience très limitée en matière de démantèlement et de remise en état des installations d'extraction et de traitement de l'uranium. Plusieurs sièges d'extraction ont fermé au fil des ans, mais la seule mine d'uranium qui a cessé ses activités récemment (en 1993) est celle de Stilfontein, dans les terrains aurifères de Kleksdorp. L'usine d'uranium est en cours de démolition et tout le site est remis en état en vue de sa réutilisation. Le propriétaire, Gencor, peut être considéré comme étant l'entreprise la plus avancée en Afrique du Sud dans le domaine du réaménagement des installations de production de l'uranium. Son projet de Stilfontein sera un projet pilote pour le démantèlement et la démolition des usines d'uranium il servira à établir des lignes directrices pour les futurs projets de cette nature en Afrique du Sud.

Les implications financières de la fermeture définitive des exploitations minières représentent également un aspect important de cette étape. Toutes les mines sont désormais dotées d'un fonds de réaménagement alimenté annuellement par les bénéfices d'exploitation. À la cessation des activités minières, ces fonds accumulés serviront à réaménager le site, selon des modalités acceptables du point de vue de l'environnement.

Conclusions

L'environnement a souffert dans le passé de la négligence manifestée à l'égard des incidences sur le milieu naturel des opérations minières en général, et de l'extraction de l'uranium en particulier. Ces dernières années, les sociétés minières sont devenues plus conscientes des problèmes d'environnement. De fait, de nombreuses sociétés appliquent des normes et des programmes d'environnement qui vont au delà des obligations réglementaires prescrites par la nouvelle Loi sur les substances minérales et les exigences du CNS. Un changement d'attitude notable est illustré par le fait que les opérations sont conçues de façon à se dérouler dans des conditions respectueuses de l'environnement qui provoquent un minimum de dégradation du cadre naturel durant la période de production. L'environnement est géré de façon plus intelligente. En outre, les sociétés minières rendent publics leurs plans pour l'environnement.

S'agissant de l'extraction et du traitement de l'uranium, l'Afrique du Sud a accusé un certain retard par rapport aux pays développés quant à la sensibilisation aux problèmes d'environnement, mais elle a évolué rapidement sur ce point. Ces opérations sont dorénavant réglementées et bien que la législation soit encore évolutive (des lois importantes sont en cours de révision et il est possible qu'elles subissent des changements), des progrès ont déjà été enregistrés. Des systèmes et des programmes sont en place ou en passe de l'être, pour surveiller et réduire au minimum les incidences radiologiques et autres sur l'environnement. Ces mesures contribuent au bien-être futur de la société.

• Allemagne •

DONNÉES DE BASE

L'ancienne société mixte germano-soviétique SDAG Wismut, troisième producteur mondial, a produit 216 000 tonnes d'uranium entre 1946 et 1990.

Les nombreuses exploitations souterraines et à ciel ouvert ont produit un total de 240 millions de tonnes de minerai et de 760 millions de tonnes de stériles.

L'extraction d'uranium s'est déroulée sur une superficie totale de 240 km² dans l'Erzgebirge (Saxe) et la Thuringe orientale (voir figure 1).

Après la réunification allemande en 1990, la production commerciale d'uranium a été arrêtée en fin d'année. La Wismut détient encore des mines et des installations sur 37 km² (voir figure 1). Début 1991, démantèlement des sites appartenant à la Wismut a commencé ; l'Office fédéral de radioprotection (Bundesamt für Strahlenschutz – BfS) a évalué l'étendue de l'extraction de l'uranium en dehors des sites détenus par la Wismut.

Le 12 décembre 1991, d'après la Loi Wismut, la République Fédérale d'Allemagne, représentée par le Ministère de l'Économie (BMWi), devient l'unique actionnaire de la Wismut

Démantèlement et réaménagement

Les réaménagements qui ont été conduits entre 1946 et 1990 étaient de faible ampleur. Les sites occupés par des mines abandonnées ont été restitués aux autorités locales, mais les opérations de déclassement ont été limitées, mal documentées ou inconnues. Les espaces excavés ont été partiellement comblés par des stériles. Un programme visant à évaluer les activités de décontamination nécessaires a été lancé en 1991. L'Office fédéral de radioprotection a été désigné, en vertu de l'article 3 du Traité de réunification allemande, pour évaluer tous les sites d'extraction d'uranium de la partie orientale du pays (en dehors des zones appartenant encore à la Wismut), tandis que la Wismut a été chargée de déclasser et de remettre en état les zones qu'elle détenait encore (37 km²), sous la supervision du Ministère fédéral de l'Économie.

Cadre juridique

Le cadre juridique régissant les travaux de démantèlement et réaménagement est exposé dans un ensemble de réglementations et de lois, dont la plus importante est la Loi Wismut selon laquelle la fermeture des anciennes mines et le réaménagement des sites connexes incombe à la Wismut sarl. D'autres dispositions législatives se rapportant au projet Wismut sont énumérées ci-après :

- la Loi minière fédérale ;
- la Loi sur l'énergie atomique ;

- la Loi fédérale sur la protection contre les émissions ;
- la Loi sur la responsabilité en matière d'environnement ;
- la législation relative à la radioprotection dans l'ex-RDA, reprise dans l'accord de réunification, et toujours en vigueur pour la remise en état des mines d'uranium dans la partie orientale du pays ;
- le Décret sur la radioprotection.

Comme les activités d'extraction et de production d'uranium étaient négligeables dans l'ancienne République Fédérale d'Allemagne, le Décret sur la radioprotection ne statue que marginalement sur les aspects particuliers des opérations d'exploitation de l'uranium. La prospection, l'extraction et le traitement des minerais radioactifs n'ont été inclus dans le Décret que par souci d'exhaustivité, et les obligations et conditions propres aux opérations d'extraction d'uranium n'ont pas été couvertes. Aussi le Décret ne s'applique-t-il pas pleinement à la remise en état des déblais de stériles, des bassins de retenue des résidus et du matériel d'exploitation. C'est la raison pour laquelle le Traité de réunification allemande stipule que la législation de l'ex-RDA sur la radioprotection doit continuer à s'appliquer au déclassement et à la remise en état des sites d'extraction de l'uranium. En outre, la Commission allemande de radioprotection a émis un certain nombre de recommandations en la matière, sous forme de principes qui visent la mise à disposition des zones, déblais de stériles, structures et matières contaminés par l'extraction d'uranium. Ces principes sont pris en compte dans l'évaluation du caractère nécessaire de la remise en état des terrains et des installations. Ils sont décrits en détail dans les « Principes de radioprotection concernant la conservation, l'utilisation ou la mise à disposition de matières, bâtiments, terrains ou décharges contaminés par l'extraction d'uranium » exposés dans le 23^{ème} volume des « Recommandations de la Commission allemande de radioprotection » (1992). Ces principes de radioprotection portent sur :

- la réutilisation à des fins industrielles des zones contaminées par l'extraction d'uranium ;
- la conservation et l'utilisation des décharges de déchets miniers ;
- le maintien de la vocation des bâtiments commerciaux ou industriels et l'évacuation des débris de construction provenant de bâtiments affectés à l'extraction et au traitement de l'uranium ;
- le boisement et la mise en culture des zones contaminées par l'extraction, ou leur conversion en jardins publics et en quartiers résidentiels ;
- la mise à disposition du matériel et des installations d'extraction d'uranium réutilisables en vue d'usages généraux ;
- la mise à disposition des déchets récupérés lors de la fermeture des mines d'uranium.

Ces recommandations contiennent également un résumé :

- des résultats de la radioexposition associée à l'extraction en Saxe et en Thuringe, et de son évaluation ;
- des principes de radioprotection destinés à limiter l'exposition du public aux rayonnements du radon et de ses produits de filiation ;
- des résultats des études épidémiologiques sur l'état de santé des habitants des régions minières et des mineurs en Saxe et en Thuringe.

Structure administrative

Un bref aperçu illustre ci-dessous les relations entre les divers organismes et entreprises qui participent aux travaux de démantèlement et de réaménagement.

- Le Ministère fédéral de l'Économie (BMWi) administre en qualité d'actionnaire la Wismut sarl, qui appartient entièrement au gouvernement fédéral, et la finance par des crédits annuels prélevés sur le budget fédéral, en consultation avec le Ministère fédéral des Finances et avec l'accord du Parlement allemand.
- Le Ministère fédéral de l'Économie a engagé un expert chargé de l'assister pour le projet et de le conseiller sur le caractère adéquat et efficace par rapport au coût de l'élaboration et de la mise en œuvre des mesures de déclassement et de remise en état. Il a également fait appel aux connaissances spécialisées du Bureau de recherches géologiques (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe – BGR).
- La Wismut sarl est responsable du démantèlement et du réaménagement de ses sites et installations. S'il y a lieu, l'entreprise passe des contrats avec des entreprises techniques et des bureaux d'étude. Les demandes de permis relatives à toutes les activités de déclassement et de remise en état doivent être soumises aux autorités nationales compétentes.
- En Saxe et en Thuringe, les autorités compétentes en matière d'autorisation supervisent leurs agences techniques respectives qui traitent les demandes de permis. Elles font également appel à des experts indépendants selon leurs besoins.
- La coordination de la préparation du réaménagement avec la population locale revêt une importance particulière. Les idées de la population locale au sujet de la réaffectation des terres remises en état doivent être prises en considération dans les limites des possibilités économiques. Des rencontres régulières entre la direction de la Wismut et des représentants de la population sont organisées à cette fin.
- Le Ministère fédéral de l'Environnement, de la Conservation de la nature et de la Sûreté nucléaire (BMU) supervise la procédure d'autorisation appliquée par les États de Saxe et de Thuringe sur les points qui tombent dans le champ de la Loi sur la radioprotection. Pour ce faire, le BMU a également engagé un consultant spécialisé dans des aspects techniques. Il bénéficie aussi du concours de l'Office fédéral de radioprotection (BfS).
- L'Office fédéral de radioprotection (BfS) est responsable (selon les dispositions du Traité de réunification allemande) du recensement de tous les déchets radioactifs dans les nouveaux États de l'Allemagne réunifiée, y compris de toute contamination radioactive en dehors des sites appartenant à la Wismut. En vue de s'acquitter de cette tâche, le BfS a lancé, au milieu de l'année 1991, un projet intitulé « Recensement, étude et évaluation radiologiques des sites contaminés par l'extraction de l'uranium ». Ce projet est financé et supervisé par le BMU. Le projet est exécuté par l'Entreprise de sécurité des réacteurs (Gesellschaft für Anlagen und Reaktorsicherheit, GRS) et des sous-traitants. Les résultats obtenus jusqu'à présent sont résumés ci-après.

Conformément aux recommandations de la Commission allemande de radioprotection, l'évaluation a été effectuée en prenant comme repère principal une valeur seuil de l'exposition

individuelle au sein de la population correspondant à un débit de dose de 1 mSv/an, en plus de l'exposition avant-extraction. On a déterminé les périmètres à l'intérieur desquels se déroulerait l'étude et mené à bien des inspections sur le terrain, assorties de mesures de la radioactivité. Quelque 5 000 sites de mines abandonnées, dont des mines d'argent exploitées au moyen-âge, des mines de métaux non précieux plus récentes et des mines d'uranium, ont été répertoriés sur une superficie de 1 500 km². L'évaluation a ramené à environ 250 km² la superficie nécessitant des recherches et des mesures de décontamination supplémentaires. Il était prévu que l'évaluation exhaustive s'achève en 1997.

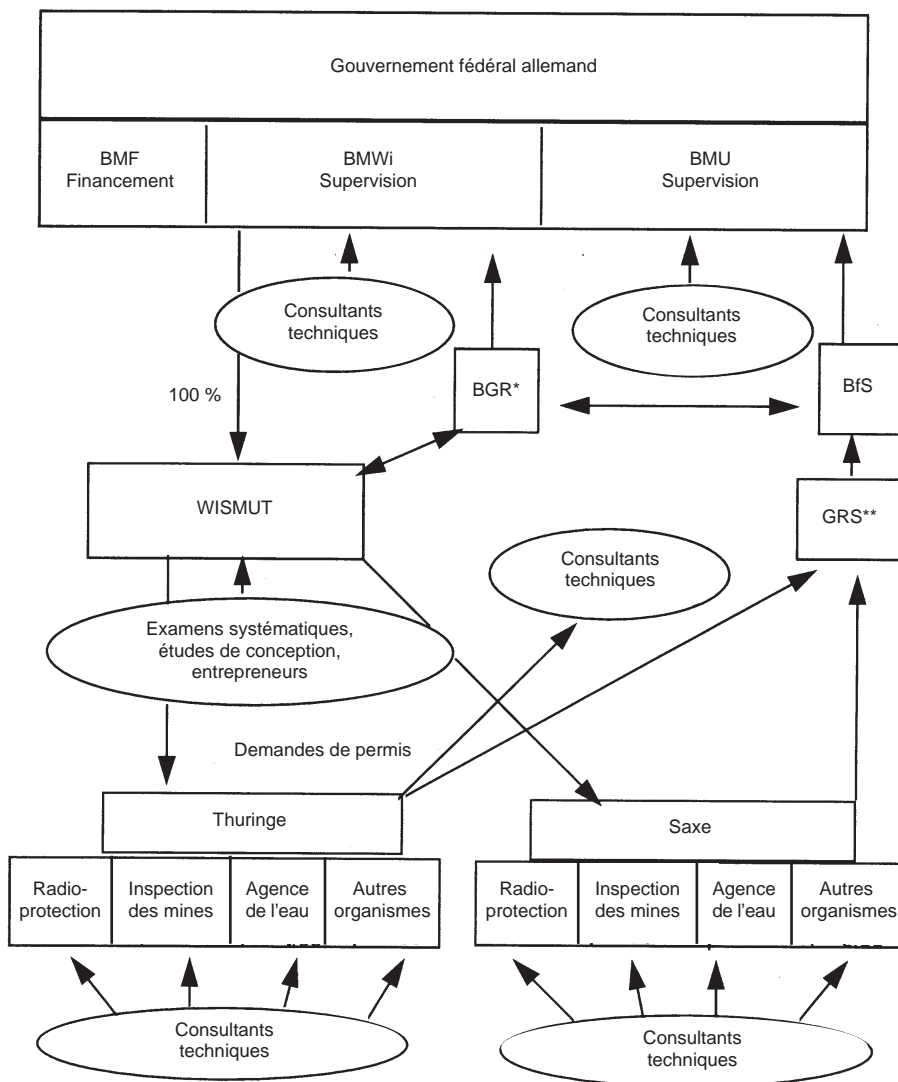
Le stade de démantèlement et de réaménagement des usines de la Wismut qui sont fermées est décrit dans des publications du Ministère fédéral de l'Économie (Publications n^{os}335 et 370 du BMWi).

Un choix d'aspects essentiels de la remise en état est récapitulé ci-dessous :

- Quelque 600 millions de m³ de minerais et de stériles ont été extraits des mines à ciel ouvert, dont environ 160 millions de m³ proviennent d'une seule mine (Lichtenberg) qui atteint presque 200 m de profondeur sur une superficie de quelque 1,6 km². À la cessation des activités minières, la fosse a servi d'aire d'évacuation pour les stériles des mines de Ronneburg. Approximativement 80 millions de m³ avaient été remblayés avant 1990. Quelque 100 millions de m³ de stériles sont encore entassés près de Ronneburg. La majeure partie de ces matériaux seront replacés dans la fosse.
- Les mines souterraines ont produit environ 300 millions de m³ de matériaux, dont la moitié de minerais. Dans le district d'Aue (Erzgebirge), plus de 45 millions de m³ de stériles répartis dans une quarantaine de déblais s'étendent sur une superficie d'environ 3 km². Un vaste programme de stabilisation, de remodelage, de recouvrement et de restauration du couvert végétal est en cours sur ces déblais.
- En plus des nombreux puits, quelque 1 400 km de galeries ont été creusés.
- Résidus de traitement : en dehors des deux grandes usines classiques qui étaient en activité (Crossen et Seelingstädt), un certain nombre d'installations plus petites ont été exploitées sur les sites miniers pendant une courte période.
- À l'usine de Crossen, le minerai provenant de l'Erzgebirge était traité selon des méthodes de lixiviation par voie alcaline. Les résidus ont été évacués dans un bassin d'environ 2 km², situé à proximité, qui contient actuellement quelque 45 millions de m³ de résidus et 6 millions de m³ d'eau.
- L'usine de Seelingstädt traitait principalement les minerais du district de Ronneburg en Thuringe, en pratiquant à la fois la lixiviation par voie alcaline et acide.
- Les résidus étaient évacués dans deux bassins des environs, qui totalisaient un volume de 107 millions de m³ sur une superficie de 3,4 km².

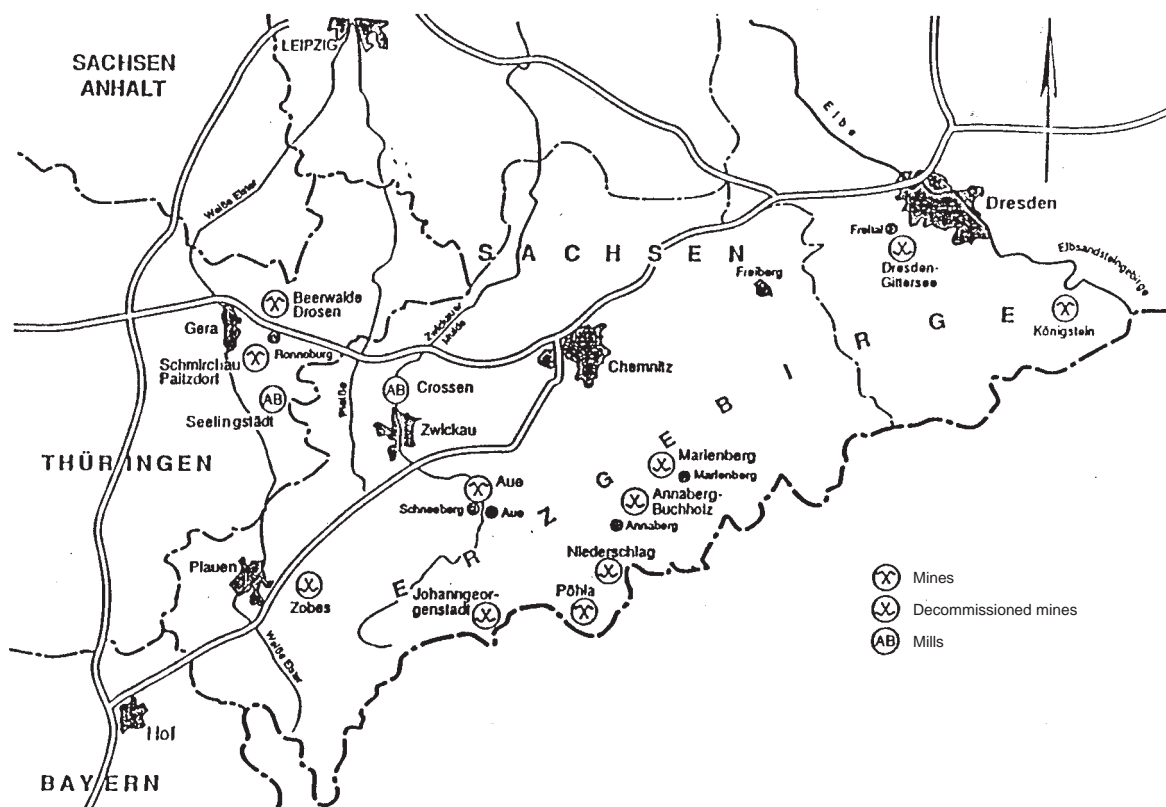
Le démantèlement et le réaménagement des installations de la Wismut prendront une quinzaine d'années et leur coût total a été estimé à 13 000 millions de marks.

**Organisation du déclassement et de la remise en état des installations de production d'uranium
(modifiée d'après la publication n° 370 du BMWi)**



* Bureau de recherches géologiques.
 ** Entreprise de sécurité des réacteurs.

Figure 1. Mines et usines exploitées par la Wismut



Sites d'extraction et de traitement de la WISMUT

	District minier			Site de traitement		Total
	Aue	Königstein	Thuringe orientale	Seelingstädt	Crossen	
Superficie (km ²)	5,7	1,5	16,7	13,1	2,9	37
Puits	8	10	38	0	0	56
Décharges de déchets						
Quantité	20	3	16	9	1	49
Taille (km ²)	3,4	0,4	6,0	5,3	0,2	15,3
Volume (10 ⁶ m ³)	47,2	4,5	187,8	72,0	5,6	317,1
Décharges de résidus						
Quantité	1	3	3	7	3	17
Taille (km ²)	0,1	0,05	0,9	7,1	2,3	10,45
Volume (10 ⁶ m ³)	0,75	0,2	0,25	149,3	56,7	207,2
Mines souterraines						
Taille (km ²)	30,7	7,1	73,4	0	0	111,2
Chantier d'exploitation (km)	240	112	1 043	0	0	1 395
Mines à ciel ouvert						
Quantité	–	–	1	0	0	1
Taille (km ²)	–	–	1,6	0	0	1,6
Volume (10 ⁶ m ³)	–	–	84	0	0	84

Limites radiologiques

Générales

Rayonnement : 5 mSv/an. Radon (à l'intérieur des bâtiments) : 250 Bq/m³. Anciennes zones d'extraction et de traitement (après remise en état) :

Sol (sec)	0,2 Bq/g utilisation sans restriction ; 1 Bq/g exclusivement à usage industriel.
Surface du sol	1 mSv/an ou 0,3 µSv/h utilisation sans restriction
Déchets de construction	0,2 Bq/g utilisation sans restriction ; > 1 Bq/g usage restreint
Déchets de la production d'uranium	0,5 Bq/cm ² utilisation sans restriction
Décharge de déchets miniers	0,2 Bq/g utilisation sans restriction ou < Bq/g à < 1 ha ou < 105 m ³ utilisation sans restriction.
Limite recommandée pour les mineurs et le restant du personnel exposé sur le lieu de travail	50 mSv/an (100 mSv/5 ans).

Les limites spécifiques pour les rejets de certains nucléides ne sont pas indiqués ici par souci de concision.

• Argentine •

PLAN D'AMÉNAGEMENT POUR LE RÉAMÉNAGEMENT DU SITE DU COMPLEXE INDUSTRIEL DE MALARGÜE

Historique

La CNEA (Comisión Nacional de Energía Atómica) a exploité pendant 32 ans le complexe industriel de Malargüe, dans la province de Mendoza. Cette installation transformait le minerai d'uranium extrait de plusieurs gisements de la province en concentré d'uranium. La production a cessé à la fin de l'année 1986 et on a commencé à réaménager le site. La gestion des 700 000 t de résidus doit s'effectuer selon un calendrier qui prévoyait aussi des recherches destinées à établir le meilleur plan de gestion.

En 1993, le document « Evaluación del Impacto Ambiental y Gestión Definitiva de las Colas de Uranio del Complejo Fabril Malargüe » (Étude d'impact sur l'environnement et gestion à long terme des résidus d'uranium du complexe industriel Fabril Malargüe) comportait la décision d'évacuer les déchets par transfert sur un autre site au sein du complexe Malargüe. Le plan d'aménagement détaillé

est défini de façon à répondre aux exigences en matière de conception et aux objectifs proposés, dans le respect des normes et critères techniques fondamentaux.

Le document vise à établir un plan d'aménagement pour la gestion des résidus du traitement de l'uranium, dans le cadre global du démantèlement de l'installation. L'objectif final consiste à stabiliser les résidus à long terme et à réduire la quantité de polluants rejetés dans l'atmosphère jusqu'au niveau le plus bas qui puisse être raisonnablement atteint.

Le document est divisé en chapitres. Chaque chapitre comprend des analyses de thèmes se rapportant à l'aménagement, qui sont étayées sur le plan technique par des études complémentaires incluses dans les annexes et les suppléments. Les modes opératoires et les documents nécessaires à l'exécution des travaux correspondants peuvent être élaborés à partir des informations disponibles.

Zone concernée

Le complexe industriel Malargüe comporte plusieurs installations et l'actuel site de stockage des résidus. Pour aménager le nouveau site destiné à accueillir les déchets, il faudra notamment achever le démontage et la démolition des installations et équipements existants, la décontamination des sols et la préparation du terrain pour les fondations. La topographie actuelle du site a été cartographiée et la quantité totale de matières à éliminer (résidus du traitement, sols contaminés et débris de construction) évaluée. À l'endroit choisi, on a foré des puits dans la fosse à ciel ouvert en vue de déterminer les caractéristiques du sol pour les fondations. D'après les résultats des analyses et de l'évaluation des échantillons de sols, les premières actions à mener pour construire les fondations sont l'excavation des 30 premiers centimètres, et la scarification et le compactage de cette masse en une couche, de façon à homogénéiser la base et à éviter un affaissement différentiel.

Agencement de la barrière

Le système de confinement proposé se compose de plusieurs couches de matières naturelles conçues pour former une barrière ouvragée. Le compactage du sol est suivi par le placement de la barrière inférieure du système. Cette barrière comprend une couche poreuse compactée, un horizon de sol sablo-limoneux compacté et une couche d'argile compactée.

Gestion des résidus

Le Laboratoire des sols du Département Géotechnique de l'Universidad Nacional de Cuyo (UNC) a étudié les caractéristiques mécaniques des résidus, par des essais en laboratoire et sur le terrain. Le degré de saturation et la capacité de rétention des résidus ont également été estimés. La synthèse de ces données a permis de sélectionner la meilleure méthode pour extraire les matières de la lagune.

L'extraction verticale des résidus a aussi été décidée, conformément aux études granulométriques et aux essais pilotes effectués sur des gradins en vraie grandeur. Les résidus seront acheminés vers le nouveau site par camions. De l'eau est ajoutée aux résidus afin de réduire la pollution par les poussières. Les déchets seront disposés en couches compactées et neutralisés à la chaux. Compte tenu de leur hétérogénéité, les matières seront réparties en fonction de leur comportement mécanique, autrement dit, celles qui présentent la plus grande force seront déposées dans la partie inférieure du

système et celles de moindre force dans la partie supérieure. Les propriétés physiques et chimiques des résidus ont été analysées. Elles sont consignées dans l'Étude d'impact sur l'environnement.

Stabilisation et couverture

La barrière multicouche est destinée à réduire les émanations de radon et le rayonnement gamma, à limiter au minimum l'infiltration d'eau de pluie, à éviter le dessèchement de la couche argileuse et à offrir une protection à long terme contre l'érosion. La barrière multicouche se compose d'une couche d'argile compactée et d'une couche de sol sablo-limoneux compacté, recouvertes d'une couche de pierres.

Conception structurelle

La structure du système de confinement a été conçue en fonction des caractéristiques des différents types de sols qui seront confinés et de l'amélioration des propriétés physiques et chimiques visant à stabiliser les résidus à long terme.

Un essai a été mené sur le terrain avec les matières les plus représentatives. Il s'agissait d'analyser le comportement des équipements, la réaction des matières, de rechercher la méthode la plus adéquate pour déverser la chaux et de déterminer le temps nécessaire au séchage.

Hydrologie et hydrogéologie

Les conclusions des études hydrogéologiques, et en particulier la nécessité de stabiliser le système à très long terme, plaident pour la construction d'un système de drainage souterrain, destiné à abaisser le niveau de la nappe souterraine. Cela revient à ajouter une barrière supplémentaire entre les déchets et la surface de la nappe phréatique, en cas d'augmentation anormale des réserves d'eau souterraine.

Pour permettre le libre écoulement de l'eau de pluie et compte tenu de la contribution du flanc sud-ouest des déchets et de la montée de la nappe phréatique, on propose d'aménager un drainage superficiel au-dessus des surfaces des nappes, coïncidant avec le plus grand prolongement du drainage profond.

Durée de la surveillance et remise en état du site

On prévoit de maintenir une surveillance durant 20 ans, afin de comparer la tenue du système de confinement des résidus par rapport au modèle employé. Un programme de surveillance sera mis en œuvre en vue de déceler d'éventuelles modifications des conditions prévues. Si de telles anomalies se produisaient, les mesures correctrices adéquates seraient appliquées.

Ce programme de remise en état s'achèvera par le reboisement du site. Ceci afin de rendre le site accessible au public, en gardant à l'esprit les restrictions et l'approbation finale de l'*Ente Regulator Nuclear* (Agence de réglementation nucléaire).

• Australie •

L'EXTRACTION DE L'URANIUM EN AUSTRALIE AUJOURD'HUI

On estime que l'Australie recèle approximativement 26% des réserves mondiales d'uranium dans la catégorie des ressources raisonnablement assurées (RRA) à faible coût, bien qu'il n'y ait actuellement que deux mines d'uranium en activité sur le continent. La mine Ranger est située sous les tropiques secs/humides, dans la région d'Alligator Rivers (Territoire du Nord), classée « patrimoine mondial », qui contient aussi le parc national Kakadu. La mine d'uranium, de cuivre et d'or Olympic Dam se trouve dans une région aride de l'Australie Méridionale, en bordure du Grand Bassin artésien, dans lequel est puisée l'eau nécessaire au projet. Le minerai extrait en 1979 à Nabarlek, également localisé dans la région d'Alligator Rivers, a été traité jusqu'en 1988. La remise en état du puits (dans lequel les résidus ont été enfouis), des bassins d'évaporation et de l'installation de traitement a été achevée en 1995. La surveillance de l'environnement se poursuit sur le site de Nabarlek.

Le gouvernement fédéral australien a limité l'extraction de l'uranium à ces trois mines, par la réglementation dite des trois mines (the « Three Mines Policy »), entre 1983 et 1996. Le changement de gouvernement en 1996 et l'abolition de la réglementation des trois mines ont ravivé l'intérêt pour d'autres gisements uranifères qui n'ont pas encore été exploités.

Les mines d'uranium australiennes exploitées et dont l'exploitation a été officiellement proposée, sont indiquées dans le tableau ci-dessous.

Mine/Gisement	Réserves d' U_3O_8 prouvées	Situation
Ranger N°3	53,4 kt à 0,28%	Production annuelle de 5 kt d' U_3O_8 .
Olympic Dam	360 kt à 0,06-0,08%	Production annuelle de 1,6 kt d' U_3O_8 , devrait atteindre 4,6 kt à partir de fin 1999, dossier d'impact sur l'environnement pour l'extension rendu public en mai 1997 pour commentaires.
Jabiluka	90,4 kt à 0,46%	Dossier final d'impact sur l'environnement paru en juin 1997. Autorisation du gouvernement en Octobre 1997.
Kintyre	24 kt à 0,2-0,4%	Achèvement des lignes directrices pour le dossier d'impact sur l'environnement.
Beverley	12 kt à 0,27%	Dossier d'impact sur l'environnement en préparation.

De nombreux autres gisements uranifères ont été découverts en Australie. Au total, les RRA d'uranium exploitables à un coût inférieur à 80\$US/kgU de l'Australie s'élevaient à 622 kt d'U₃O₈ en décembre 1996.

Réglementation de l'extraction de l'uranium en Australie

Comme l'Australie est une fédération d'États et de Territoires dirigée par le gouvernement du Commonwealth australien, chaque État et Territoire (à l'exception du Territoire fédéral de la capitale qui interdit l'extraction minière) a promulgué sa propre législation pour réglementer l'industrie minière, et a créé des services publics ou des ministères chargés d'administrer cette législation et de veiller à son application. La responsabilité et le pouvoir de réglementer les aspects environnementaux de l'extraction et du traitement de l'uranium incombent principalement aux États et aux Territoires.

Le gouvernement du Commonwealth australien (fédéral) ne participe pas à la réglementation au jour le jour des mines d'uranium. Il a établi un cadre législatif plus général à l'échelle du Commonwealth qui garantit que l'Australie s'acquitte de ses engagements internationaux, notamment ceux qui relèvent des traités et conventions signés par l'Australie. En dehors de la région d'Alligator Rivers dans le Territoire du Nord, l'intervention du gouvernement fédéral dans les questions environnementales liées à l'extraction et au traitement de l'uranium s'arrête à l'issue de l'évaluation des études d'impact sur l'environnement (EIE), requises par la *Loi de 1974 sur la protection de l'environnement (Impact des projets)*. Cette loi fédérale stipule que a) celui qui a l'intention de procéder à une exploitation qui porte sensiblement atteinte à l'environnement est tenu de préparer un dossier d'impact sur l'environnement qui sera diffusé auprès du public pour commentaires et que b) le gouvernement fédéral australien évalue le dossier d'impact sur l'environnement.

L'étude d'impact sur l'environnement (EIE) permet au gouvernement fédéral d'examiner les projets d'exploitation, tels que les mines d'uranium, et d'interdire ceux qui s'avèrent avoir des incidences inacceptables sur l'environnement. À l'issue d'une EIE, le gouvernement de l'État ou du Territoire sur lequel l'exploitation doit avoir lieu assume l'entière responsabilité de la réglementation environnementale de la mine d'uranium. Afin d'éviter les doubles emplois, les EIE des nouvelles mines d'uranium sont généralement réalisées conjointement par le Commonwealth et l'État ou le Territoire concerné.

RÉSUMÉ DU CADRE LÉGISLATIF ET RÉGLEMENTAIRE

Cadre général

La *loi de 1974 sur la protection de l'environnement (Impact des projets)* prévoit une procédure d'évaluation de l'impact sur l'environnement destinée à étayer les décisions prises par le gouvernement fédéral.

À l'exception du Territoire du Nord, l'extraction minière de l'uranium en Australie est réglementée par les gouvernements des États qui possèdent les ressources minérales. L'uranium du Territoire du Nord appartient au Commonwealth, aussi ce Territoire est-il régi par des dispositions législatives et réglementaires particulières, qui sont examinées plus en détail plus bas. Dans tous les États australiens, à l'exception de ceux de Victoria et de la Nouvelle-Galles du Sud, les mines d'uranium sont exploitées conformément aux lois afférentes à l'extraction et à l'exploitation des

ressources, et la réglementation de ces sites miniers incombe aux États, en application de leur propre législation. Les États sont aussi responsables des normes d'hygiène et de sécurité du travail relatives à l'exposition aux rayonnements dans ces mines.

L'État de Victoria et la Nouvelle-Galles du Sud ont promulgué une législation interdisant la prospection et l'extraction de l'uranium.

Les autorités fédérales exercent le contrôle des exportations d'uranium, conformément au régime douanier (Exportations interdites). Actuellement, les autorités donnent leur accord à tous les projets d'extraction et d'exportation d'uranium, à condition qu'ils répondent à des critères stricts concernant l'environnement, le patrimoine et la sûreté nucléaire.

Territoire du Nord – Région d'Alligator Rivers

Dans la région d'Alligator Rivers, le gouvernement fédéral intervient davantage pour protéger l'environnement des incidences potentielles de l'extraction d'uranium. Cette région abrite le parc national Kakadu, classé « patrimoine mondial » en raison de son intérêt culturel, esthétique et écologique. C'est la région d'Australie la plus riche en uranium. Trois des principaux gisements sont localisés dans des concessions enclavées dans le parc national, car elles ont été octroyées avant la création officielle du parc, puis isolées au sein de celui-ci. Il s'agit des mines de Ranger, dont l'exploitation a débuté en 1980 et a été autorisée jusqu'aux environs de 2012, de Jabiluka, dont l'exploitation est autorisée, et de Koongarra.

La réserve d'uranium de Nabarlek se situe à l'extérieur du parc national Kakadu, mais à proximité de celui-ci. Le traitement du minerai accumulé a pris fin en 1988 et le site a été remarquablement bien remis en état en 1994-95. La prospection se poursuit à l'extérieur du parc national, mais cette activité est interdite à l'intérieur du parc (en dehors des trois concessions minières existantes, isolées du reste du parc).

En 1977, époque à laquelle la valeur environnementale et culturelle exceptionnelle de la région commençait à être connue du public, les autorités fédérales australiennes ont réalisé un vaste sondage auprès de la population, avant de décider d'autoriser l'extraction de l'uranium dans la région d'Alligator Rivers. Les autorités ont accepté la recommandation issue du sondage d'autoriser l'extraction de l'uranium sous une série de conditions, dont la création d'un poste de Superviseur scientifique, chargé de surveiller les répercussions sur l'environnement de l'extraction d'uranium dans la région. Par le biais du Superviseur scientifique et des organisations qui relèvent de son autorité (le Bureau du Superviseur scientifique – Office of the Supervising Scientist –, rebaptisé « Section d'audit et d'examen de l'extraction d'uranium » – Uranium Mining Audit and Review Branch –, et de l'Institut de recherches sur l'environnement du Superviseur scientifique – Environmental Research Institute of the Supervising Scientist), le gouvernement fédéral favorise la protection du parc national Kakadu contre les impacts potentiels de l'extraction d'uranium dans la région.

La loi limite les activités du Groupe du Superviseur scientifique à la région d'Alligator Rivers, où il assume une fonction de surveillance ; la réglementation, quant à elle, relève du gouvernement du Territoire du Nord. La mesure des performances des mines en matière d'environnement, à l'aide d'un audit mené deux fois par an, représente un aspect important de la tâche du Superviseur scientifique. Les résultats de cet audit sont communiqués à l'occasion d'une réunion entre les pouvoirs publics, l'industrie et des représentants de la population locale, où sont examinés les performances en matière d'environnement, les rapports sur l'état de l'environnement, les résultats de la surveillance et les

préoccupations des parties prenantes. Le Superviseur scientifique a régulièrement déclaré que la mine d'uranium de Ranger n'avait pas d'incidence notable sur l'environnement du parc national Kakadu.

L'extraction d'uranium dans le Territoire du Nord est régie à la fois par la législation du Commonwealth et celle du Territoire du Nord (DPIE, 1996). Les opérations minières en général sont couvertes par une série de lois relevant du Commonwealth et du Territoire, toutefois nous n'avons résumé ci-dessous que les principales lois afférentes à l'extraction d'uranium.

Législation du Commonwealth

Loi de 1953 sur l'énergie atomique

La loi sur l'énergie atomique autorise le Commonwealth à conserver les droits de propriété sur l'uranium dans le Territoire du Nord. Par conséquent, le Commonwealth fixe et perçoit toutes les redevances sur l'extraction d'uranium dans le Territoire du Nord.

La loi sur l'énergie atomique règle aussi l'autorisation de base des activités minières dans la zone du projet Ranger, qui sont conduites par Energy Resources of Australia (ERA). Cependant, comme cette zone est située sur un territoire aborigène, attribué conformément à la loi sur les droits fonciers aborigènes du Territoire du Nord, toutes les redevances perçues par le Commonwealth pour ce projet sont reversées sur le Fonds de redevances aborigène (Aboriginal Benefits Trust Account).

Le deuxième rapport de l'enquête sur les aspects environnementaux de l'exploitation de l'uranium de Ranger (rapport Fox), paru en 1977, recommandait d'observer des précautions bien précises lors de l'extraction et du traitement de l'uranium, afin de protéger l'environnement de la région d'Alligator Rivers contre les effets de ces activités. Ces mesures de protection de l'environnement ont été définies par le Commonwealth, selon les recommandations du rapport Fox, et font partie des dispositions réglementaires et contractuelles qui s'appliquent au projet Ranger. À ce titre, elles sont incluses dans l'autorisation accordée, conformément à la loi sur l'énergie atomique, aux activités minières dans la zone du projet Ranger.

Loi de 1974 sur la protection de l'environnement (Impact des projets)

Cette loi prévoit une procédure d'évaluation de l'impact sur l'environnement, destinée à étayer les décisions prises par le gouvernement fédéral. Elle garantit, dans toute la mesure du possible, que les questions ayant un impact significatif sur l'environnement sont examinées de manière approfondie et prises en compte dans les décisions et les recommandations émises par le gouvernement australien ou en son nom. Comme toutes les exportations d'uranium sont soumises à l'autorisation du Commonwealth, tous les projets d'extraction d'uranium doivent respecter cette loi.

Loi de 1978 sur la protection de l'environnement (Région d'Alligator Rivers)

Cette loi prévoit la nomination ou la création :

- d'un Superviseur scientifique pour la région d'Alligator Rivers (au sein du Groupe du Superviseur scientifique) ;
- d'un comité de coordination pour la région d'Alligator Rivers ;

- d'un institut de recherche de la région d'Alligator Rivers (rebaptisé Institut de recherches sur l'environnement du Superviseur scientifique).

Ces autorités et organisations sont principalement chargées de coordonner et de contrôler les mesures de protection et de remise en état de l'environnement de la région d'Alligator Rivers destinées à remédier aux effets de l'extraction de l'uranium. Le Groupe du Superviseur scientifique a pour tâche de collecter les données de base et d'établir des normes en matière d'environnement, d'élaborer et de superviser un programme d'environnement et de conduire des programmes de recherche.

Loi de 1978 sur la protection de l'environnement (Codes nucléaires)

Trois codes de bonne pratique concernant les minerais et déchets radioactifs ont été publiés en vertu de cette loi, dont deux ont été révisés ultérieurement. Les trois codes sont énumérés ci-dessous avec leur dernière date de publication :

- Code de bonne pratique sur la gestion des déchets radioactifs provenant de l'extraction et du traitement des minerais radioactifs (1982) (Code de gestion des déchets).
- Code de bonne pratique sur la protection contre les rayonnements émis lors de l'extraction et du traitement des minerais radioactifs (1987) (Code sanitaire).
- Code de bonne pratique pour la sûreté du transport des substances radioactives (1990) (Code du transport).

Ces trois codes de bonne pratique sont conformes aux normes adoptées à l'échelon international, et offrent donc une base fiable pour la protection contre les rayonnements lors de l'extraction et du traitement des minerais radioactifs et du transport de substances radioactives. Ces instruments émanent du Commonwealth, mais les États et Territoires veillent à leur application. Ces codes ont été adoptés sous forme de réglementations dans le Territoire du Nord.

Législation du Territoire du Nord

La *loi de 1982 sur l'extraction minière* réglemente l'octroi d'une concession minière en vue d'activités extractives. Toutes les concessions minières sont délivrées sous réserve que leur titulaire conduise ses programmes d'extraction et autres activités en perturbant le moins possible l'environnement et se conforme aux instructions écrites du Ministère des Mines et de l'Énergie du Territoire du Nord.

La *loi de 1990 sur la gestion des mines* couvre l'inspection et la gestion des opérations minières.

La *loi de 1979 sur l'extraction de l'uranium (Surveillance de l'environnement)* vise à doter toutes les mines d'uranium du Territoire du Nord, y compris celles de la région d'Alligator Rivers, d'une réglementation en matière d'environnement. Cette loi reflète la volonté partagée du Commonwealth et du Territoire du Nord de placer autant que possible les opérations minières sous la tutelle du Territoire du Nord.

Comme les juridictions du Commonwealth et du Territoire du Nord se chevauchent en ce qui concerne la réglementation sur l'environnement de l'industrie extractive de l'uranium, les deux

gouvernements ont mis en place des dispositions pratiques pour délimiter les rôles des différents organismes intéressés et créé des mécanismes de consultation appropriés.

Remise en état du site minier

La mine Ranger fait l'objet d'une série de dispositions spéciales qui régissent sa remise en état finale. Le rapport Fox recommandait d'adopter des mesures pour garantir que l'exploitant effectue à ses propres frais les travaux de remise en état requis. Cette recommandation s'est concrétisée par l'Accord Ranger (passé entre le Commonwealth et la société minière (ERA), qui contient plusieurs dispositions détaillées qui font obligation à cette société de remettre correctement en état la zone du projet Ranger.

Aux termes de cet accord, ERA est tenue de préparer un plan annuel de remise en état, qui s'appuie sur une date de cessation des activités minières fixée au 31 mars. Une fois ce plan accepté par le Ministre des Ressources et de l'Énergie, son coût est estimé par un expert indépendant et l'entreprise dépose dans le Fonds de remise en état du site Ranger un montant suffisant pour garantir l'exécution du plan.

Le projet Nabarlek a été mené à bien dans une concession minière du Territoire du Nord, aussi les prescriptions relatives à la remise en état ont-elles été régies par la législation du Territoire du Nord. L'entreprise a récemment achevé le programme de démantèlement et de déclassement du site, et recouvert de végétation l'ancien puits de la mine renfermant des résidus, ainsi que les bassins d'évaporation. Le site fera cependant l'objet d'un programme de surveillance à plus long terme.

Australie Méridionale – Activités d'exploitation à Olympic Dam

Le cadre juridique qui régit les conditions de la mise en œuvre du projet et des opérations activités d'exploitation à Olympic Dam est fixé dans le contrat synallagmatique conclu entre le gouvernement de l'Australie-Méridionale (l'État) et WMC Ltd. Il a été ratifié par le Parlement de l'État par le biais de la loi Roxby Downs (ratification du contrat synallagmatique) de 1982. La mine produit avant tout du cuivre, mais aussi de l'uranium et de l'or. Le contrat synallagmatique, modifié en 1996 pour pourvoir à la réalisation d'un projet de récupération de 350 000 t/an de cuivre (au départ 150 000 t/an), et de produits connexes, définit les obligations de l'État et de WMC Ltd dans de contexte du projet.

Le projet initial d'Olympic Dam et le projet d'extension, récemment achevé, ont fait l'objet d'une procédure exhaustive d'évaluation de l'impact sur l'environnement. Le premier dossier d'impact sur l'environnement et le supplément ainsi que le rapport d'évaluation de l'État constituent le dossier final d'impact sur l'environnement. Les autorités fédérales ont aussi vérifié la conformité du dossier d'impact sur l'environnement au regard des procédures administratives contenues dans *loi de 1974 sur la protection de l'environnement (Impact des projets)*.

Les obligations de l'entreprise et de l'État sont définies dans la loi Roxby Downs (ratification du contrat synallagmatique) de 1982, telle qu'elle a été amendée. Le contrat synallagmatique stipule que WMC Ltd est tenue de respecter les lois de l'État et du Commonwealth ainsi que les codes de bonne pratique afférents aux questions environnementales.

S'agissant des activités permanentes de gestion de l'environnement, le contrat synallagmatique précise qu'un programme de protection, de gestion et de remise en état de l'environnement, assorti de

mesures de surveillance des zones en vue de vérifier l'efficacité du programme, devra être soumis au ministre tous les trois ans.

Les principales lois fédérales visant les opérations minières sont mentionnées ci-dessous. Une liste exhaustive de toutes les lois de l'État et du Commonwealth qui se rapportent à l'extraction d'uranium à l'Olympic Dam figure dans WMC Ltd. (1996) ; elles incluent notamment:

- Loi de 1984 sur les substances réglementées.
- Loi de 1979 sur les substances dangereuses et réglementations.
- Loi de 1993 sur la protection de l'environnement et réglementations.
- Loi de 1994 sur la protection de l'environnement (Bruit industriel).
- Loi de 1994 sur la protection de l'environnement (Qualité de l'air)
- Loi minière de 1971 et réglementations.
- Loi de 1987 sur la santé publique et l'hygiène de l'environnement.

La loi de 1982 sur la protection contre les rayonnements et le contrôle des rayonnements vise les activités liées à l'extraction et au traitement de l'uranium, ainsi qu'à l'évacuation des résidus, en s'appuyant sur les Codes de bonne pratique du Commonwealth, à savoir le Code sanitaire et le Code de gestion des déchets. Cette loi régit aussi tous les transports de matières radioactives, dont le concentré d'oxyde d'uranium destiné à l'exportation, en se référant au Code du transport.

L'obligation générale de prendre des précautions est exposée dans la loi de 1986 sur l'hygiène, la sécurité et le bien-être au travail et les règlements harmonisés, qui appellent implicitement à la formulation d'un système de gestion de l'hygiène et de la sécurité au travail. Cette législation s'inspire du Code sanitaire, du Code de gestion des déchets et du Code du transport.

Réaménagement des sites miniers

La réglementation du réaménagement des sites miniers incombe à l'État. Le premier dossier d'impact sur l'environnement de Olympic Dam et le dossier d'impact sur l'environnement du projet d'extension proposent un modèle théorique pour le réaménagement final du site, et notamment le système de confinement des résidus. Ce modèle est susceptible d'évoluer continuellement en fonction de l'expérience acquise au cours du réaménagement progressif des sites inclus dans la zone du projet où l'activité a cessé, et d'un programme de recherche sur les techniques de réaménagement. Les modalités et les aspects du réaménagement font partie intégrante du plan triennal de gestion et de surveillance de l'environnement élaboré par WMC Ltd, et approuvé par l'État. Ce plan peut être consulté par le public.

Questions de caractère général

Enquête du Sénat

Une enquête du Sénat sur l'extraction et le traitement de l'uranium est venue compléter la somme de données sur ce sujet. L'enquête du Sénat a porté sur les points suivants :

- L'impact sur l'environnement de l'extraction et du traitement de l'uranium en Australie et l'efficacité des mesures de protection et de surveillance de l'environnement visant les activités passées et présentes d'extraction de l'uranium en Australie.

- Le rôle du Superviseur scientifique dans la surveillance des activités d'extraction et de traitement de l'uranium en Australie.
- Les incidences de l'extraction et du traitement de l'uranium sur la santé et la sécurité des personnes qui effectuent ces opérations et travaillent sur ces sites.
- Les incidences sur la santé et la sécurité et les autres répercussions de l'extraction et du traitement de l'uranium sur les populations établies à proximité des mines et des sites de traitement et le long de l'itinéraire actuel ou projeté du transport du minerai et des déchets d'uranium.
- L'effet concret des accords bilatéraux conclus entre l'Australie et des pays importateurs d'uranium australien, aux termes desquels l'uranium d'origine australienne ne peut pas être utilisé à des fins de technologie nucléaire et militaire ou essais pour des armes nucléaires.
- Le volume et la localisation du plutonium « d'origine » australienne actuellement présent dans le cycle international du combustible (produit par l'utilisation d'uranium australien), la forme sous laquelle il existe (par exemple isolé ou en combustible nucléaire irradié) et son usage final prévu.

Cette enquête a donné lieu à deux rapports. Le comité a présenté son rapport en mai 1997. Le rapport de la majorité (Coalition/Travailleuse) se concluait par ces termes : « les principaux résultats de l'enquête sur les aspects environnementaux de l'uranium de Ranger (rapport Fox) ont été confirmés par vingt années d'expérience ». Fox déclarait que : « si l'extraction et le traitement de l'uranium sont correctement réglementés et contrôlés, les risques associés à ces activités sont trop faibles pour justifier la décision de ne pas exploiter les mines d'uranium australiennes ». Dans une opinion dissidente une minorité de sénateurs opposés à l'extraction d'uranium demandait que l'industrie de l'uranium cesse ses activités ou, à défaut, applique 33 recommandations « destinées à réparer les dommages causés à l'Australie par la poursuite de ce commerce mortel ». Le Gouvernement prépare une réponse à l'étude du Sénat.

Questions environnementales – perception et réalité ne font qu'un

Les groupes de pression qui sont opposés à l'extraction d'uranium pour des motifs philosophiques et/ou écologiques sont versés dans l'art de cultiver une image négative de l'industrie. Leur stratégie consiste à propager une méfiance à l'égard de l'industrie et des pouvoirs publics et à développer la peur du vandalisme écologique au sein de la population australienne. L'industrie d'extraction de l'uranium réagit en publiant les détails de ses programmes de gestion de l'environnement et, ces dernières années, certaines entreprises ont ouvert leurs opérations au public. En levant le voile du secret, l'industrie a obligé les groupes de pression à justifier leurs affirmations. D'un autre côté, grâce à l'action des groupes de défense de l'environnement, l'industrie et les pouvoirs publics ne peuvent plus désormais faire fi de l'opinion publique. Ces groupes jouent un rôle important en faisant pression sur l'industrie et les autorités pour qu'elles améliorent sans cesse leurs mesures de protection de l'environnement.

Les questions soulevées peuvent souvent paraître futiles ou sans conséquence pour l'industrie ou les pouvoirs publics. La perception de ces questions par la population australienne est influencée par les idées des groupes de pression et/ou des valeurs individuelles sociales et morales. En conséquence, les risques environnementaux associés à une activité sont susceptibles d'être perçus par le public comme beaucoup plus graves que ceux calculés par les scientifiques. La réaction naturelle de

l'industrie et des pouvoirs publics a consisté, soit à taxer le public d'ignorance et à écarter la question, soit à tenter d'expliquer au public pourquoi les risques étaient faibles et à faire comme si la question ne se posait pas. Ces deux stratégies ne font qu'alimenter « l'indignation » du public. Pour le citoyen ordinaire, qui n'est pas expert en sciences de l'environnement ou des rayonnements, la perception et la réalité ne font qu'un. L'industrie australienne de l'extraction de l'uranium et les pouvoirs publics commencent peu à peu à comprendre que la gestion du mécontentement de l'opinion publique est aussi importante que la gestion des risques pour l'environnement. Des mécanismes de consultation, organisés en particulier dans la région d'Alligator Rivers (Territoire du Nord), permettent de discuter ouvertement de sujets qui ont une importance perçue et réelle pour l'environnement et d'élaborer et de mettre en œuvre des mesures d'atténuation. La gestion du mécontentement de la population a toujours été un problème en Australie. L'industrie et les pouvoirs publics ont commencé à comprendre récemment la juste manière d'y répondre, mais il leur reste encore beaucoup à apprendre.

Il s'ensuit que les questions d'environnement associées à l'extraction de l'uranium en Australie dépendent à la fois la perception de la population et de considérations techniques. Il arrive bien souvent que des sujets sensibles aux yeux du public coïncident avec ceux qui retiennent l'attention de l'industrie et des pouvoirs publics. C'est notamment le cas de l'efficacité et de l'équité de la réglementation environnementale qui s'applique actuellement à l'extraction de l'uranium, mais aussi de la gestion et l'évacuation des déchets miniers et des déchets issus du traitement (résidus) et de la gestion de l'eau.

La mine Ranger se trouve dans une zone de mousson et reçoit environ 1 400 mm de précipitations à chaque saison des pluies. L'excès d'eau recueilli pendant la saison des pluies est géré dans une zone sensible classée patrimoine mondial.

La mine Olympic Dam est établie sous un climat aride et prélève de l'eau du « Great Artesian Basin » (grand bassin artésien). L'utilisation de l'eau artésienne par la mine forme une part substantielle de l'étude d'impact sur l'environnement et fait l'objet d'une réglementation et d'une surveillance destinées à prévenir toute incidence inacceptable sur l'environnement, par exemple sur les sources artésiennes perchées.

La remise en état poussée du site de la mine d'uranium de Nabarlek a été achevée en 1995. La surveillance environnementale du site continue, mais la date de la levée de la surveillance et de la restitution du site à ses propriétaires originels reste à fixer. D'autres sites de mines d'uranium exploitées dans les années 50 et 60 ont été remis en état ou traités par des mesures de réduction des risques dans les années 80 ; la surveillance et l'entretien doivent être maintenus sur ces sites.

Priorités en matière de recherche environnementale

L'Institut de recherches sur l'environnement du Superviseur scientifique a accumulé une expérience de plus de vingt ans dans son domaine de recherche, sur le site de la mine d'uranium de Ranger. Cet institut a créé des normes locales et des protocoles de surveillance environnementale et biologique, et a souligné la nécessité d'adopter, au niveau international, des Codes de bonne pratique ou des Lignes directrices, génériques, relatifs aux aspects environnementaux de l'extraction de l'uranium. Certains des domaines de recherche auxquels il conviendrait d'attribuer la priorité afin de faciliter l'élaboration de ces Codes de bonne pratique sont énumérés ci-après.

- Critères de fermeture des mines.
- Normes permettant d'évaluer les sites miniers remis en état, afin de déterminer l'acceptabilité des mesures de remise en état, notamment les types et durées de surveillance.
- Innocuité pour l'environnement des techniques relatives à l'évacuation finale des résidus. Comparaison des méthodes souterraines et superficielles et des nouvelles technologies potentielles telles que le traitement préalable à l'évacuation des résidus.
- Mise au point de systèmes de drainage destinés à améliorer la fiabilité du confinement des résidus, notamment des solutés qui risquent de contaminer les aquifères et les zones humides.
- Protection des ressources en eau.
- Élaboration, pour les milieux aquatiques et terrestres, de protocoles applicables à des systèmes de surveillance de l'environnement, sensibles, non destructifs et capables de donner des résultats reproductibles. Les protocoles devraient s'appliquer à la surveillance biologique des écosystèmes, au lieu de se limiter à la mesure des paramètres chimiques, physiques et radiologiques.
- Rejets dans l'atmosphère (radon, poussières, émissions atmosphériques provenant du traitement).
- Évaluation des effets des polluants atmosphériques sur la flore et la faune, méthodes de réduction des rejets dans l'atmosphère, création de protocoles de surveillance incluant l'identification des espèces et des écosystèmes vulnérables.
- Procédés biologiques de traitement de l'eau.
- Étude de la capacité et des limites de l'action filtrante des zones humides dans l'épuration des eaux contaminées. Établissement de principes de conception et d'optimisation pour les zones humides filtrantes. Évaluation des besoins en matière d'assainissement des zones humides filtrantes.

BIBLIOGRAPHIE

DPIE (1996) : *Submissions to Senate Select Committee on Uranium Mining and Milling 1996* by Department of Primary Industries and Energy (non publié).

WMC Ltd (1996) : *Submissions to Senate Select Committee on Uranium Mining and Milling 1996* by WMC Ltd (non publié).

• Brésil •

INDUSTRIE DE L'URANIUM ET ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX

Pour ce qui est des aspects environnementaux, l'expérience brésilienne découle du premier et unique site d'extraction de l'uranium existant dans ce pays, dont la mise en exploitation remonte à 1982. L'installation d'extraction et de traitement de l'uranium de Poços de Caldas, située sur l'une des plus vastes intrusions alcalines du monde, est la seule mine d'uranium exploitée au Brésil. La mine à ciel ouvert couvre une superficie de quelque 2 km². Les roches mères sont constituées par une série de massifs intrusifs altérés par des processus hydrothermaux et métasomatiques, et d'épanchements de phonolites volcaniques à sub-volcaniques, contenant des proportions variables de minéraux mafiques et de syénites à néphéline (Waber *et al* 1991).

On estime que 94,5 x 10⁶ tonnes de terrain ont été déblayées au cours des opérations minières (Fernandes *et al.* 1993). Deux pour cent seulement de cette masse ont été traités en vue de la récupération de l'uranium. Le reste est accumulé sur des terrils. Le minerai est traité dans une installation de lixiviation à l'acide sulfurique. La production totale d'U₃O₈, après 10 ans d'exploitation, a été estimée à environ 1 000 tonnes.

Les eaux d'exhaure sont retenues à l'intérieur de la mine à ciel ouvert dans une tranchée aménagée à cet effet. L'eau drainée à partir des terrils est collectée dans des étangs artificiels et pompée vers la mine où elle est mélangée avec les eaux d'exhaure. Ces eaux sont pompées vers l'unité de neutralisation pour y être traitées. Il en ressort une boue qui est déposée dans le bassin de retenue des résidus avec les résidus du traitement. L'effluent du bassin de retenue des résidus est traité au BaCl₂ pour précipiter le ²²⁶Ra & ²²⁸Ra soluble sous forme de Ba(Ra)SO₄.

Le site minier recoupe deux bassins hydrographiques. Les eaux des deux rivières sont prélevées intensivement pour irriguer les cultures et abreuver le bétail. On y pratique aussi la pêche récréative. La température varie entre 1 et 36°C avec une moyenne annuelle de 19°C. Les précipitations maximales totalisent 1 700 mm, et se répartissent sur plus de 120 jours par an (Amaral *et al.*, 1988).

L'impact des eaux de drainage des roches acides, libérées sans traitement dans l'environnement, a été d'abord évalué par Amaral *et al.* (1988). La dose annuelle due au ²²⁶Ra et à l'²³⁸U résultant de la lixiviation des roches stériles se chiffrait à 0,59 mSv. Les incidences radiologiques de l'ensemble des opérations d'extraction et de traitement ont été évaluées par Amaral (1992). L'auteur a situé l'équivalent de dose efficace annuel entre 3,7 x 10⁻² et 1,4 x 10⁻¹ mSv pour des groupes critiques hypothétiques risquant une exposition par ingestion de poisson, de légumes irrigués, de lait, de boeuf et d'eau, ou encore par baignade ou par contact avec des sédiments contaminés. La dose a été estimée à partir de tous les radionucléides à longue durée de vie de la famille de l'uranium, rejetés dans les effluents liquides du traitement chimique et du drainage de la mine et des roches acides.

Il n'a pas été possible de faire la distinction entre les effets dus aux émanations de Rn et aux rejets de poussières de l'installation et ceux imputables au rayonnement naturel reçu par la population locale. On n'a pas observé d'augmentation de la concentration d'aérosol ni de gradient de radon. L'exposition naturelle au radon de la population locale est comprise dans un intervalle estimé entre 3,7 et 11,4 mSv.a⁻¹ (Amaral *et al.*, 1992).

Veiga *et al.* (1997) ont procédé par élimination pour comparer les incidences des polluants radioactifs et non radioactifs émis dans l'environnement par l'intermédiaire des effluents liquides. Ils ont conclu que tous les polluants justifiant une étude plus poussée étaient associés à des effets non radiologiques sur la santé. Ce sont Mn, F et U. Si l'uranium est un élément radioactif, sa toxicité chimique pour les humains est malgré tout plus préoccupante que ses effets radiologiques.

Un projet de recherche étendu est mené à bien pour déterminer les actions correctives appropriées à appliquer au moment de la fermeture des installations minières. On évalue trois grandes sources de pollution : les terrils, le bassin de retenue des résidus et la mine à ciel ouvert. Pour toutes ces catégories, le drainage de substances acides résultant de la présence de composés sulfurés dans la roche mère est le moteur de la mobilisation des polluants radioactifs et non radioactifs.

Fernandes *et al.* (1996a) ont estimé que dans l'hypothèse la plus défavorable tablant sur l'arrêt du traitement chimique de l'effluent liquide sortant du bassin de retenue des résidus (et ce en l'absence de mesure corrective telle qu'une couverture des résidus), les doses reçues par le groupe critique varieraient entre 8,1-8,5 mSv.a⁻¹ (hypothèse prudente) et 0,48-0,62 mSv.a⁻¹ (hypothèse optimiste). Les espèces radioactives ²¹⁰Pb et ²¹⁰Po seraient à l'origine de plus de 80% de la dose totale.

Fernandes *et al.* (1996b) ont étudié des solutions de remplacement au drainage des eaux acides. On estime qu'il faudrait attendre plus de 1000 ans pour que le matériau pyriteux s'élimine naturellement ce qui mettrait fin à l'écoulement d'eaux acides. Les espèces radioactives ²³⁸U, ²³⁴U et ²³⁰Th produiraient 97% de la dose totale (estimée à quelque 0,83 mSv.a⁻¹).

Ces résultats montrent l'importance que peuvent prendre les effluents liquides de l'extraction et du traitement de l'uranium dans la dose individuelle, en particulier lorsque le minerai renferme de la pyrite et que les conditions météorologiques locales favorisent la formation d'eaux d'exhaure acides. Il faut, par conséquent, tenir compte des particularités des sites ainsi que des conditions climatologiques et géochimiques dans la gestion de l'environnement. Les aspects socio-économiques du site peuvent aussi jouer un rôle très important.

L'expérience acquise au cours de ces études débouche sur la mise en œuvre d'une méthode fondée sur le bilan massique de l'activité des radionucléides et sur l'évaluation des risques dans les installations d'extraction et de traitement non radioactives. Sur ce site, le minerai renfermant de l'uranium ou du thorium est principalement exploité pour d'autres minéraux. Au Brésil, on élabore actuellement un nouveau projet qui met en avant les procédures de gestion de l'environnement dans les installations. Une solution applicable dans ces installations consiste à extraire l'uranium des déchets, même s'il n'est récupéré que comme sous-produit.

Traitement de l'effluent liquide résultant des opérations d'extraction et de traitement au CIPC du plateau de Poços de Caldas – Minas Gerais

Le Complexo Mineral Industrial do Planalto de Poços de Caldas, CIPC, est l'une des installations industrielles de Industrias Nucleares do Brasil S.A., INB, qui est responsable des activités liées au cycle du combustible nucléaire au Brésil.

Le CIPC est la seule installation du pays à produire du concentré d'uranium, sous forme de diuranate d'ammonium (NH₄)₂U₂O₇, dont la teneur en uranium est d'environ 75%. Il occupe une superficie d'environ 15 km² sur le plateau de Poços de Caldas, dans l'État de Minas Gerais, à l'intérieur des bassins des deux plus importants cours d'eau de la région, le Antas et le Verde. La mine

se trouve dans une zone tropicale, caractérisée par des pluies abondantes qui tombent surtout en été, entre octobre et mars, selon un régime moyen annuel de 1 800 mm. Les températures moyennes annuelles varient entre 7,5°C et 25,9°C.

Les opérations d'extraction et de traitement comportent le concassage, le broyage, le traitement chimique et le conditionnement du concentré d'uranium. L'excavation de la mine de 1,2 km de diamètre est située entre 1 480 m et 1 304 m au-dessus du niveau de la mer, soit sur une profondeur de 176 m. Jusqu'à présent, on a exploité 2×10^6 tonnes de minerai, en rejetant $43 \times 10^6 \text{ m}^3$ de roches stériles, qui s'entassent sur une superficie de 1,73 km². Depuis 1993, les roches stériles sont renvoyées à la mine. Depuis le début de l'exploitation, en 1982, des mesures sont en place pour réduire au minimum l'impact des tas de stériles sur l'environnement. Ces activités ont été complétées ultérieurement par des programmes de gestion destinés à surveiller l'eau drainée à partir des tas.

Le schéma des opérations du traitement chimique réalisé au CIPC prévoit une opération classique de lixiviation du minerai à l'acide sulfurique, la séparation de la phase solide par filtration, la clarification de la liqueur, une extraction par solvant organique, une deuxième extraction par chlorure de sodium en solution aqueuse et une précipitation alcaline sous forme de diuranate d'ammonium. Cette installation, qui a une capacité de traitement nominale de 2 500 tonnes de minerai par jour, génère des déchets solides semblables au minerai broyé et un effluent liquide exempt d'uranium. Le déchet solide, recueilli à l'état de pulpe, est alcalinisé à la chaux jusqu'à pH 9,0 et dirigé vers le bassin de retenue des résidus. L'effluent liquide est neutralisé à pH 4,5 avec du calcaire, puis alcalinisé à la chaux jusqu'à pH 9-10 et envoyé vers le bassin de retenue des résidus.

Au CIPC, les principales sources d'effluents liquides sont la fosse de la mine, les terrils, l'aire de stockage du minerai broyé et le bassin de décantation.

Fosse de la mine

La présence d'uranium sur le plateau a été décelée pour la première fois en 1948, mais les recherches géologiques et la prospection ont débuté en 1964. S'agissant de l'exploration du minerai à des fins économiques, les activités de recherche et de prospection ont commencé en 1971, dans la zone de la mine. Après 14 000 m de forages et le creusement de 2 500 m de galeries, il a été décidé d'exploiter le gisement à ciel ouvert. L'extraction a débuté en 1977 par un affouillement de la mine, et le premier tas de minerai a été construit en 1981. La mine se composait essentiellement de trois corps minéralisés, désignés par A, B et E, en fonction de leurs caractéristiques géologiques. Les roches stériles contiennent des matériaux miniers dont la teneur en U₃O₈ soluble est inférieure à 200 ppm, c'est-à-dire la teneur seuil pour le traitement. Suivant leur origine, les roches stériles sont disposées sur différentes aires réservées à cette fin autour de la fosse de la mine. Des blocs de minerai de 5 m x 5 m x 2 m sont divisés en blocs dont la taille n'excède pas 1 m en vue de l'extraction des matériaux miniers. Le minerai subit ensuite un premier concassage et les roches stériles sont entassées. Les roches stériles ont été, soit déversées les unes sur les autres pour former progressivement un tas, soit disposées en couches horizontales, suivant la dynamique de l'extraction.

Les eaux acides drainées à partir de plusieurs points à l'intérieur de la mine sont d'abord collectées dans une tranchée d'une capacité de 80 000 m³. Elles sont ensuite pompées vers les bassins A1, B1 et B2, puis vers la station de traitement à la chaux. La composition chimique des eaux acides est semblable à celle des eaux acides qui s'écoulent des terrils, qui est abordée dans la prochaine section.

Terrils

Pour évacuer les roches stériles, on avait d'abord envisagé de construire un terril unique à proximité du bassin de retenue des résidus. Cette option a été écartée, en raison de la nature tourbeuse du terrain à cet endroit. La recherche d'un lieu approprié a été guidée en premier lieu par la stabilité du substratum, puis par des considérations économiques comme la distance de camionnage et la topographie.

Caractéristiques des terrils

Terrils	Volume	Superficie	Origine principale des matériaux
	10^6 m^3	10^4 m^2	
1	4,4	25,5	Stériles de recouvrement
3	9,8	20,5	Stériles de recouvrement
4	12,4	56,9	Stériles du corps B+stériles de recouvrement
7	2,4	5,3	Stériles de recouvrement
8	15,0	64,4	Stériles des corps (B+E)+stériles de recouvrement
Terrils à l'intérieur de la fosse de mine	0,56	9,87	Stériles du corps E

Parmi les terrils existants, ceux qui ont le plus de répercussions sur l'environnement sont le 4 et le 8, en raison de leur localisation, de leur origine et de la quantité de matériaux déposés. Les risques environnementaux et les mesures à appliquer en vue de leur stabilisation physique, chimique et biologique sont analogues pour les deux terrils. Aussi les études menées en vue de leur démantèlement ne portent-elles que sur le terril 4.

Le terril 4 a été construit au-dessus de la vallée du Consulta, à proximité de la fosse de mine, car l'étude des caractéristiques géologiques et géotechniques sur le terrain n'a révélé aucune instabilité, ni risque d'une rupture de remblai. Les berges du cours d'eau et de ses affluents n'étaient ni tourbeuses ni meubles. La vallée est formée exclusivement par une surface continue de saprolite, un sol altéré issu de roches alcalines très dures et très résistantes. Cette surface est surmontée par une couche de graviers de limonite, d'argile et de sable de 0,3 m d'épaisseur. Les plus gros débits mesurés pour le Consulta et ses affluents s'élèvent, respectivement, à 31,5 et 11,1 l/sec. Le terril 4, qui contient $12,4 \times 10^5 \text{ m}^3$ de roches stériles et de stériles de recouvrement, s'étend sur 0,57 km² et culmine à 90 m. Les roches stériles proviennent pour la plupart de l'abattage du corps B, qui consistait essentiellement en une brèche configurée en colonne. Il s'est formé à partir de l'intrusion syénitique, présente en de nombreux endroits sur le site de la mine. La matrice présente une texture de tinguaité, imprégnée par des matières hydrothermales, comme la pyrite, la fluorite, des minéraux uranifères, le molybdène et le zirconium, accompagnées de petites quantités de galène, de sphalérite et de baryte. On a trouvé du kaolin dans les fractures et même disséminé dans les parties poreuses de la brèche. L'uranium présent dans la matrice du minerai tirait son origine, soit du phénomène hydrothermal ascendant qui a imprégné les corps de brèche (origine primaire), soit d'une reconcentration secondaire due à un processus de réoxydation. Le corps B mesurait 400 m de large sur 500 m de long et 400 m de profondeur. Pour des raisons économiques, il n'a été excavé que jusqu'à une altitude de 1 332 m. Les

concentrations respectives de l'uranium et du molybdène s'élevaient à 800 et 1 600 µg/g respectivement.

Le terril 8 a été construit au-dessus de la vallée du Cercado, selon les mêmes critères de sélection que ceux décrits plus haut. Ce terril se compose de 15 x 106 m³ de stériles de recouvrement et de roches stériles procédant des corps minéralisés A et E.

Le corps A présentait une matrice semblable à celle des brèches du corps D. Il était constitué par une masse de tinguaité et de phonolite où dominaient les feldspaths potassiques et la séricite. De la pyrite, de la fluorite, des minéraux uranifères, du molybdène et du zirconium saturent souvent cette masse. Le kaolin, produit d'altération typique, apparaissait souvent dans la brèche, remplissant les fractures ou disséminé dans la totalité de la matrice. Ce corps mesurait approximativement 300 m de large sur 400 m de long et 250 m de profondeur. Il a été excavé jusqu'à une altitude de 1 320 m. Les teneurs respectives en uranium et en molybdène s'élevaient à 700 et 1 500 µg/g.

Le corps E est disposé autour des formations de brèche et correspond aux roches adjacentes à la brèche, où se trouve la concentration secondaire de l'uranium. On est essentiellement en présence de tinguaites et de phonolites très fracturées, qui ont aussi été très fortement altérées par l'activité hydrothermale. Le facteur secondaire à l'origine de la concentration de l'uranium dans cette zone est l'intensification des effets tectoniques et thermiques.

Ces facteurs favorisent l'altération et, par suite, la migration de solutions d'uranium imprégnantes, entraînée par la progression « per decensum » de fronts redox qui agissent à travers tout le corps de minerai. Sous de telles conditions l'uranium est lixivié et redéposé dans des zones plus petites. Il se dépose en films le long des fissures ou dans certaines zones très poreuses où il se dissémine. Des concentrations nodulaires ont été fréquemment observées à des croisements de fractures et dans des zones où la dékaolinisation de la roche était plus intense. Dans ce cas, en raison du cycle de migration géochimique différentielle, les teneurs en molybdène et en zirconium sont généralement faibles, notamment si on les compare à celles des corps de minerai A et B. La teneur moyenne en uranium était de 1 200 µg/g.

Avant de combler les vallées avec des roches stériles, on a pourvu au drainage de la surface de base en construisant de profonds canaux d'écoulement avec des roches stériles recouvertes de matériaux intermédiaires et d'argile. Compte tenu de la stabilisation physique des alluvions et de l'érosion réduite dans les cours du Consulta et du Cercado, ceux-ci ont été dérivés respectivement sur environ 500 et 1 500 m, là où ils traversaient la zone d'entassement de roches stériles. La surface des matériaux déplacés est recouverte par une couche de 30 cm d'argile compactée pour empêcher la percolation de l'eau de pluie à travers les roches stériles. Sans cette précaution, l'eau de pluie pourrait gonfler le volume des eaux de drainage contaminées. La déclivité finale des pentes du terril varie entre 0,5 et 1%. Les eaux de pluie qui tombent sur cette plate-forme sont rejetées dans l'environnement par des canaux de drainage. En vue de stabiliser les matériaux déposés, on a testé diverses possibilités de reboisement, afin d'assurer une protection contre l'érosion éolienne et pluviale et, jusqu'à un certain degré, contre la pénétration de l'humidité dans les terrils.

La surveillance des eaux du Consulta et du Cercado a révélé une augmentation notable de la quantité d'uranium et d'autres solides dissous, due à l'influence des métaux dissous dans les eaux de drainage des terrils. Ces eaux sont généralement acidifiées par l'oxydation de la pyrite présente dans les roches stériles et possèdent les caractéristiques radiologiques et chimiques suivantes, en Bq/l : 226Ra=0,30, 228Ra=0,20, 238U=79,3; en mg/l : Mn=80, Al=170, Fe=2,1, Ca=95, SO₄=1 300, F=100; et un pH=3,0-3,5. Les teneurs maximales admissibles dans les eaux rejetées dans

l'environnement au site de surveillance atteignent, en Bq/l : 226Ra=1,0, 238U=1,0; en mg/l : Mn=1,0, Al=0,1, F=10. Une réduction draconienne des teneurs en U, Mn, Al et F dissous est donc nécessaire. On a opéré cette réduction en collectant ces eaux dans des bassins, avant de les pomper vers la station de traitement à la chaux. Les solides précipités sont expédiés à l'installation de traitement chimique ou au bassin des résidus du traitement. Le trop-plein se décharge dans le bassin de décantation des solides avant d'être rejeté dans l'environnement.

Le tableau suivant donne les résultats d'un relevé de la caractérisation chimique et radiologique en continu du terril 4.

Composition moyenne des matériaux du terril 4

Élément	Concentration (µg/g)	CV(%)	Élément	Concentration (µg/g)	CV(%)	Élément	Concentration (µg/g)	CV(%)
As	59,9	42	K	97 380	19	Sm	26,8	63
Ce	1 044	79	La	803	88	Ta	7,44	27
Co	1,54	124	Lu	1,54	45	Tb	3,21	46
Cs	0,68	47	Na	1 057	39	Th	90,3	36
Eu	7,46	58	Nd	266	74	U	219	52
Ra	30 534	58	Rb	270	16	Yb	13,1	45
Hf	38,3	76	Sc	1,54	54	Zn	266	76

Aire de stockage du minerai

L'aire de stockage du minerai mesure 175 m sur 415 m et a une capacité de 200 000 tonnes métriques de minerai broyé. L'eau de pluie qui tombe sur l'aire est collectée dans les bassins B1 et B2 et pompée vers la station de traitement à la chaux.

Bassin de décantation des résidus de traitement et système de traitement au chlorure de baryum

Après avoir été extrait de la mine, le minerai d'uranium est concassé en trois étapes. Au cours de la dernière étape, on ajoute de la pyrolusite et du phosphate naturel. La première rend le milieu oxydant et le deuxième précipite le zirconium solubilisé pendant la lixiviation à l'acide. Les matériaux concassés sont broyés en présence d'eau jusqu'à ce que leurs particules atteignent une dimension de 85% de la maille Tyler 48 (1,19 mm). La pulpe de minerai subit ensuite une lixiviation à l'acide sulfurique, dans un milieu agité et chauffé. La liqueur qui contient l'uranium est séparée de la phase solide par filtration. Après clarification par décantation des solides suspendus et filtration au charbon actif, la liqueur est conduite vers l'unité d'extraction au solvant. L'uranium est extrait une deuxième fois à l'aide d'une solution de chlorure de sodium et précipité à l'hydroxyde d'ammonium. Le précipité de diuranate d'ammonium est filtré. La pulpe est séchée par pulvérisation, puis conditionnée.

Le résidu solide de la lixiviation à l'acide est recueilli sous forme de pulpe et alcalinisé à la chaux jusqu'à pH 9. Il est ensuite envoyé dans le bassin des résidus de traitement, où on le laisse sédimenter par gravité, afin de séparer les phases solide et liquide.

La liqueur acide exempte d'uranium est neutralisée au calcaire à pH 4-4,5, alcalinisée à la chaux jusqu'à pH 9-10, et dirigée vers le bassin de décantation des résidus de traitement. Durant l'élévation du pH, il se forme une quantité considérable d'hydroxyde de fer, d'aluminium et de manganèse, ainsi que de phosphate, fluorure et sulfate de calcium, qui se déposent au fond du bassin.

Le bassin de décantation des résidus est retenu par un barrage de 10 m de large, 435 m de long au sommet et d'une profondeur maximale de 42 m. Le débit moyen de rejet des effluents du traitement atteint 0,15m³/s et le débit d'eau maximum 0.45 m³.s⁻¹. Ce bassin possède une capacité de 2,39 x 10⁶ m³ et une superficie de 0,23 km². Il est situé dans le bassin du Verde, à côté du bassin de l'Antas. Formant 80% du système hydrologique du plateau de Poços de Caldas, ces deux bassins sont importants pour le bien-être social et la prospérité économique de la région. Il était donc indispensable de mener une étude approfondie en vue de sélectionner un site d'évacuation approprié. L'aire de drainage du Soberbo a été choisie car elle présentait les conditions favorables suivantes : la topographie évite de construire un barrage massif ; l'aire de drainage vers le barrage est réduite ; le drainage des eaux souterraines est négligeable ; le profil du sous-sol présente de bonnes caractéristiques pour la construction et la rétention ; il est possible de capter les eaux de drainage à travers le barrage et la fondation et de les acheminer vers une zone bien délimitée et restreinte ; et enfin, il se trouve à proximité du site actuel de stockage des résidus, ce qui abaisse les coûts de transport et de déchargement. L'aire du bassin repose sur plus de 20 m d'argiles rouges où le substratum rocheux émerge par endroits. Le substratum se compose essentiellement de pseudo-leucites-tinguaïtes intercalées entre des microfoïtes. La présence d'argiles compactées a beaucoup pesé dans le choix du site. Elles constituent une épaisse barrière naturelle qui empêche les liquides de s'écouler vers le bassin de l'Antas ou le substratum rocheux. Du fait de la faible perméabilité de l'épaisse couche d'argile (10⁻⁷ cm/s), il n'a pas été nécessaire d'ajouter de l'argile ou un revêtement artificiel.

En contrebas du barrage, se trouve une station de traitement de l'eau où du chlorure de baryum peut être ajouté afin de fixer le radium contenu dans le trop-plein déversé par le bassin. Après le traitement au baryum, les cristaux de sulfate de radium décantent dans deux bassins dont le trop-plein est rejeté dans l'environnement.

Au total, 2 452 580 tonnes de déchets solides ont été déposées dans le bassin des résidus du traitement.

Caractéristiques chimiques et radiologiques des déchets solides du traitement

Élément	Concentration	Élément	Concentration
ZrO ₂	0,15 %	Fe ₂ O ₃	3,9 %
MoO ₃	0,03 %	Mn	0,02 %
Al ₂ O ₃	23,4 %	P ₂ O ₅	0,09 %
K	11,2 %	U	0,018 %
SiO ₂	54,0 %	Th	0,004 %
CaO	0,25 %	²²⁶ Ra	2,5 Bq/g
SO ₄	2,3 %	²²⁶ Ra	1,4 Bq/g
S	0,5 %	²¹⁰ Pb	3,4 Bq/g

Gestion de l'environnement au CIPC

Au CIPC la gestion environnementale vise à évaluer et à réduire au minimum l'impact des activités conduites dans l'installation. C'est pourquoi le plan de gestion comprend un réseau de surveillance de l'environnement et des effluents, un système de traitement et de rétention des résidus, un réseau de pompage et une station de traitement à la chaux des eaux de drainage acides, et un procédé bien rodé pour maintenir les rejets de polluants à des niveaux acceptables. Dans le plan global de gestion sont prévues des recherches sur la stabilisation des sources de polluants et la remise

en état des sites par la reconstitution de l'environnement ou leur transformation en vue d'autres utilisations.

Efficacité du traitement des effluents

On collecte en moyenne $2,2 \times 10^6 \text{ m}^3$ d'eau par an à partir des terrils 4 et 8, de la fosse de mine et de l'aire de stockage du minerai, qui sont ensuite pompés vers la station de traitement à la chaux.

En 1995, le CIPC a produit 121 tonnes d' U_3O_8 (concentré d'uranium), à partir de 135 400 tonnes de minerai. Cette opération a généré pratiquement la même quantité de résidus solides et $248\,730 \text{ m}^3$ d'une liqueur appauvrie en uranium (raffinat), qui a été traitée au calcaire et à la chaux et acheminée dans le bassin des résidus. Au total, le bassin a déversé quelque $1,48 \times 10^6 \text{ m}^3$ de trop-plein, ne contenant qu'une quantité négligeable de solides en suspension, qui ont été rejetés dans l'environnement, après élimination du radium à l'aide du chlorure de baryum. Le tableau 4 indique les caractéristiques chimiques et radiologiques de l'effluent liquide du traitement.

Les limites ont été établies par les résolutions CONOMA n°20 Art. 2 du 18/06/86 et CONOMA n°20 Art. 4 du 18/06/86 de la *Comisseo Nacional de Energia Nuclear*, CNN.

Composition de l'effluent liquide du traitement

Paramètres physico-chimiques	Raffinat	Trop-plein du bassin des résidus de traitement	Rejet dans l'environnement	Teneurs maximales autorisées
Concentration		(mg/l)		
Mn	1 620	<0,05	8,8	1,0
Fe	1 450	–	–	–
FE	730	–	–	–
Fe	–	–	0,2	15,0
Al	548	–	9,8	0,1
Ba	–	–	0,3	–
MoO_3	13	–	–	–
ZrO_2	<5	–	–	–
Ca	978	596	406	–
MgO	80	–	–	–
SiO_2	25	–	–	–
SO_4	38 500	1 400	984	250
F	200-300	5-10	5,6	10
P_2O_5	790	–	–	–
Acidité réelle (as H_2SO_4)	20 000	–	–	–
PH	1-1,5	9-10	7,3	–
Radionucléides		Activité (Bq/l)		
U	6,3	0,4	0,32	0,4
^{228}Ra	15	3	0,2	0,2
^{210}Pb	65	<0,2	<0,2	0,2
ThO_2	13	<0,02	<0,02	0,2
^{226}Ra	<1,7	<0,2	<0,2	0,2

Estimation des coûts d'investissement et d'entretien du système de traitement des eaux de drainage acides

Les principaux coûts d'investissement et d'entretien de la collecte, du pompage et du traitement des eaux de drainage acides ont été estimés, coûts du déclassement du CIPC inclus.

Coûts d'investissement et d'entretien du système de traitement des eaux de drainage des matériaux miniers acides

Rubriques	Coûts (\$US)
1. Travaux pour dériver le cours des rivières là où elles traversent la zone des terrils, recouvrir d'argile la surface des terrils, l'égaliser et y tracer un réseau de drainage	645 045
2. Construction d'un système de collecte et de pompage des eaux de drainage acides vers la station de traitement à la chaux	540 000
3. Exploitation et entretien des systèmes de pompage, de traitement et de surveillance du drainage (3 700 hommes x heures/mois)	32 000
4. Produits chimiques/an Chaux	277 600
5. Matériel de laboratoire	22 000
6. Énergie électrique/an	22 000
Coût total	
<i>Investissement (1 + 2)</i>	<i>1 185 045</i>
<i>Exploitation/an</i>	<i>705 800</i>

Recherches sur la stabilisation définitive des sources de drainage

Mêmes si les mesures prises par la direction actuelle en vue de réduire au minimum l'impact sur l'environnement sont jugées très efficaces, on n'en reste pas moins à la recherche d'une solution définitive pour supprimer la source de pollution potentielle. La plupart des axes de recherche d'une solution définitive incluent l'identification des aspects physiques, chimiques et biologiques du problème, ainsi que son évolution dans le temps.

Il est nécessaire de réaliser une étude complète des anciennes caractéristiques des zones occupées actuellement par les matières évacuées, notamment celles qui ont trait à la faune, à la flore et à l'hydrologie souterraine et superficielle, afin de les rétablir de façon rationnelle dans l'environnement au moment du démantèlement.

BIBLIOGRAPHIE

Amaral, E.C.S. (1992), *Modificação da Exposição à Radiação Natural Devido a Atividades Agrícolas e Industriais numa Area de Radioatividade Natural Elevada no Brasil*, Ph.D. Thesis – Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brésil, 130 pp.

Amaral, E.C.S., Godoy, J.M., Rochedo, E.R.R., Vasconcellos, L.M.H. & Pires do Rio, M.A. (1988), *The Environmental Impact of the Uranium Industry: Is the Waste Rock a Significant Contributor?*, Radiation Protection Dosimetry, Vol 22, n°3, pp. 165-171.

Amaral, E.C.S., Rochedo, E.R.R., Paretzke, H.G. & Franca, E.P. (1992), *The Radiological Impact of Agricultural Activities in an Area of High Natural Radioactivity*. Radiation Protection Dosimetry, Vol 45., n°1/4, pp. 289-292.

Fernandes, H.M., Prado, V.C.S, Veiga, L.H., Freitas, P., Amaral, E.C.S. & Bidone, E.D. (1993), *Risk Management in Environmental Pollution: A Case Study on the Uranium Mining and Milling Facilities of Poços de Caldas, Minas Gerais, Brazil*, Proc. of the Latin American Section of the American Nuclear Society Symposium, Rio de Janeiro, Brésil.

Fernandes, H.M., Franklin, M.R, Veiga, L.H., Freitas, P. & Gomiero, L.A. (1996a), *Management of Uranium Mill Tailings: Geochemical Processes and Radiological Risk Assessment*. J. Environmental Radioactivity, Vol 30, n°1, pp. 69-95.

Fernandes, H.M., Veiga, L.H., & Franklin, M. (1996b), *Application of Environmental Management Concepts to a Nuclear Installation: A Study Case on the Uranium Mining and Milling Facilities of Poços de Caldas - MG - Brazil*, Proceedings of General Congress of Nuclear Energy (CGEN), Rio de Janeiro, Brésil.

Veiga, L.H., Amaral, E.C., Fernandes, H.M. (1997). *Human Health Risk Screening of Radioactive and Non Radioactive Contaminants Due to an Uranium Industry*. J. Environmental Radioactivity (in press).

Waber, N., Schorscher, H.D. & Peters, T. (1991), *Mineralogy, Petrology and Geochemistry of the Poços de Caldas Analogue Sites, Minas Gerais, Brésil*. Technical Report TR 90-11. Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co., 513 pp.

• Bulgarie •

HISTOIRE DE L'ARRÊT DE LA PRODUCTION

En 1992, le gouvernement de la République de Bulgarie a voté l'ordonnance numéro 163, qui mettait officiellement fin aux activités de production d'uranium et autorisait le déclassement des sites d'extraction et de traitement de l'uranium. Un Conseil d'experts interinstitutionnel réunissant des représentants de toutes les organisations qui avaient participé à la production d'uranium a été constitué. Le Conseil d'experts est chargé d'évaluer tous les sites recensés et de dresser une liste des sites qui, au titre du programme, peuvent bénéficier d'une remise en état de leur environnement. Le Conseil d'experts doit aussi coordonner et diriger toutes les activités liées à la cessation de la production d'uranium.

Le gouvernement prévoit de promulguer une nouvelle loi supplémentaire pour définir la structure de l'organisation. Cette loi vise à améliorer l'organisation et à planifier les ressources financières nécessaires pour mener à bien le reste des travaux de remise en état, à savoir : restauration technique, reconstitution biologique, décontamination ainsi que gestion et surveillance des eaux.

Les activités couvertes par ce programme comportent la détermination des paramètres environnementaux des zones touchées par l'extraction d'uranium. Au total, 128 études, notamment radioécologiques et hydrologiques, ont été menées par des équipes d'experts. Ces études ont été conduites en vue de cerner les problèmes d'environnement et d'apprécier la faisabilité de différentes procédures de déclassement. Les étapes du démantèlement et du réaménagement sont au nombre de cinq sur tous les sites : démantèlement ; restauration technique ; reconstitution biologique ; décontamination des eaux d'exhaure et des eaux courantes superficielles ; et surveillance.

En avril 1995, le démantèlement de 61 sites de production de l'uranium a été autorisé. Selon le calendrier prévu, les travaux devaient commencer en septembre 1995 (à l'exception de deux sites de traitement). À la fin du mois de mars 1995, 70% des travaux avaient été exécutés à un coût de 50 millions de marks (DM). C'est une somme considérable, compte tenu de la situation économique du pays.

Parmi les sites qui restent à remettre en état, ceux qui présentent le plus de problèmes d'environnement sont Bukhovo, Eleshnitsa, le district de Plovdiv, le district d'Haskovo et Smolyan. Les problèmes de ces sites concernent les bassins de résidus, la contamination de l'eau souterraine, les terrils et le manque de systèmes de surveillance appropriés.

ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX

Les activités actuelles incluent la restauration technique et la reconstitution biologique (c'est-à-dire la remise en végétation). La surveillance de l'environnement se poursuit pendant les activités de réaménagement.

L'arrêt de la production d'uranium et le réaménagement des zones touchées par l'extraction de l'uranium ont appelé les actions suivantes : choix d'une technologie efficace par rapport à son coût pour le traitement des eaux d'exhaure et des eaux superficielles contaminées par des radionucléides ; choix de matériel de surveillance de l'environnement pour les sites de production d'uranium qui ferment ; conception et/ou choix de méthodes efficaces par rapport à leur coût pour traiter et réaménager les bassins de décantation et les terrils des sites de production d'uranium.

• Canada •

L'IMPACT DU PROCESSUS D'ÉVALUATION ENVIRONNEMENTALE DU CANADA SUR L'EXPLOITATION DE NOUVELLES MINES D'URANIUM

Au milieu des années 70, le Canada a introduit un processus d'évaluation de l'impact sur l'environnement. Il était destiné à garantir l'évaluation, le plus tôt possible au cours de l'étape de planification, des risques pour l'environnement de toutes les propositions de projet auxquelles étaient

associées les autorités fédérales. En 1984, un Décret sur les lignes directrices visant le processus d'évaluation et d'examen en matière d'environnement a été adopté afin de clarifier les règles, les responsabilités et les procédures se rapportant à ce processus qui avaient évolué de façon informelle sous des directives antérieures du Cabinet.

Le processus d'évaluation et d'examen en matière d'environnement n'a guère soulevé d'opposition jusqu'en 1989/90, où deux décisions de la Cour d'appel fédérale ont donné force obligatoire au Décret sur les lignes directrices. La Cour suprême du Canada a confirmé la constitutionnalité du Décret sur les lignes directrices visant le processus d'évaluation et d'examen en matière d'environnement en 1992, rendant ainsi l'application du décret obligatoire pour tous les responsables du gouvernement fédéral.

Le Canada est devenu le plus gros producteur et exportateur d'uranium à la fin des années 80. Depuis cette époque, les Canadiens ont commencé à s'intéresser de près à de nombreux problèmes de dégradation de l'environnement, tels que l'accident de Tchernobyl ou l'appauvrissement de la couche d'ozone. En 1991, durant cette période de prise de conscience accrue, la Commission de contrôle de l'énergie atomique (CCEA), l'organisme fédéral de réglementation nucléaire, a soumis six nouveaux projets d'extraction d'uranium en Saskatchewan au processus d'évaluation et d'examen en matière d'environnement, conformément au Décret sur les lignes directrices visant ce processus.

Au départ, l'apparente lourdeur du processus d'examen public en matière d'environnement préoccupait les autorités fédérales et provinciales ainsi que l'industrie de l'uranium, qui craignaient ses retombées potentielles sur les nouveaux projets d'exploitation de mines d'uranium. Toutefois, le fait que trois de ces propositions aient franchi avec succès les étapes du processus a dissipé une grande partie des incertitudes et confirmé que les opérations liées à la production d'uranium au Canada pouvaient se faire dans le respect de normes d'hygiène, de sécurité et d'environnement élevées.

Le processus d'examen public a été très utile en mettant en lumière les aspects de ces projets d'exploitation dont devaient se préoccuper les promoteurs des projets et les responsables de la réglementation. Il a contribué à démontrer que les nouveaux projets d'extraction de l'uranium étaient conduits de façon responsable, et prenaient pleinement en considération les impacts potentiels et les inquiétudes du public au sujet de ces installations. L'expérience canadienne pourrait s'avérer utile là où l'on envisage la réalisation de nouveaux projets de production d'uranium.

Introduction

L'établissement, par le gouvernement canadien, d'un processus destiné à évaluer l'impact de nouveaux projets importants sur l'environnement a été précipité en partie par l'opinion partagée par un nombre croissant de Canadiens, selon laquelle il convient de parvenir à un équilibre entre les activités qui soutiennent la croissance économique et la préservation de l'environnement naturel. Les pouvoirs publics sont de plus en plus conscients que la croissance économique doit être gérée dans une perspective durable à long terme. Lorsque le public a accordé sa confiance à un processus d'évaluation environnementale et qu'il constate que la croissance économique est gérée de façon responsable, la poursuite du développement est acceptable pour tout le monde. Lorsqu'une instance adopte un processus viable, d'autres peuvent lui emboîter le pas rapidement.

Le présent rapport récapitule l'évolution du processus d'évaluation environnementale au Canada, en se concentrant principalement sur son application à l'industrie de l'extraction d'uranium. La

nouvelle législation sur l'évaluation environnementale est comparée aux réglementations fédérales antérieures dans ce domaine, en conformité avec lesquelles sont ou seront examinés tous les projets d'extraction d'uranium actuels. Il illustre à travers quelques exemples récents la nature, la portée et les conclusions des examens pratiqués sur certains projets d'extraction d'uranium. Une brève analyse de cette expérience récente, assortie de quelques observations sur la manière d'accroître l'efficacité du processus, pourrait être utile à ceux qui envisagent d'aligner leur procédure d'autorisation de l'exploitation de l'uranium sur le modèle canadien.

Perceptions et prise de conscience du public

Le Canada est un gros producteur d'uranium depuis la naissance de cette industrie, dans les années 40. Cependant, l'époque à laquelle le Canada est devenu le premier producteur et exportateur mondial d'uranium, au milieu des années 80, a coïncidé avec une montée du mouvement antinucléaire, dont les tenants cherchaient à arrêter le développement de cette forme d'énergie. Les projets d'extension des installations d'exploitation d'uranium en Saskatchewan, conjugués à l'intérêt nouveau de la population canadienne pour les questions d'environnement ont fourni l'occasion idéale aux opposants au nucléaire de discréditer l'industrie d'extraction de l'uranium. Parallèlement, les Canadiens étaient devenus de plus en plus conscients dans les années 80 de l'importance du maintien d'une économie dynamique et d'un environnement salubre. Les événements mondiaux ont attiré l'attention du public sur la nécessité d'adopter des mesures et des pratiques favorables au développement durable.

Les opposants ont fait valoir la chute des prix de l'uranium, l'annulation des commandes de réacteurs et la baisse de la demande d'uranium. Les accidents de Three Mile Island et de Tchernobyl ainsi que les débordements des eaux d'exhaure de mines d'uranium en Saskatchewan apportaient bien la « preuve » que l'énergie nucléaire et l'extraction de l'uranium étaient un danger pour l'environnement. Les détracteurs avançaient qu'il était inutile d'accroître la capacité de production d'uranium. Une pétition publique a été lancée en vue d'amener les pouvoirs publics à rejeter les nouvelles propositions d'extraction d'uranium pour des raisons écologiques. Quand il n'a plus fait aucun doute que l'industrie était décidée à mener à bien de nouveaux projets d'extraction, le groupe de pression anti-uranium a demandé un examen de l'extraction de l'uranium dans le nord de la Saskatchewan. N'ayant pas abouti dans leur demande, les opposants se sont rabattus sur le processus d'évaluation environnementale pour essayer de bloquer la réalisation de nouveaux projets. Ils soutenaient que l'environnement et les Canadiens ne pourraient être protégés que si l'on imposait un nouveau processus d'examen rigoureux. On a prétendu que le Canada ne possédait aucun mécanisme d'examen critique des répercussions de la prospection et de l'extraction de l'uranium sur l'environnement. À l'évidence, cela n'est pas le cas !

Cadre réglementaire de l'évaluation environnementale

Contexte

Le Canada est une Confédération de dix provinces. Les compétences respectives du gouvernement fédéral et des provinces sont définies dans la Loi constitutionnelle canadienne de 1987. La constitution habilite le Parlement fédéral à passer les lois concernant la paix, l'ordre et le bon gouvernement du Canada », sauf dans les domaines qui relèvent de la juridiction exclusive des provinces, en vertu de la loi constitutionnelle. La loi constitutionnelle énumère beaucoup des

domaines qui sont du ressort de la fédération, notamment la défense nationale, les services postaux, la navigation, les transports maritimes, les chemins de fer, le commerce international et interprovincial, le système bancaire et le droit criminel. Les provinces ont compétence notamment en ce qui concerne les ressources naturelles, la production d'électricité, les travaux et le commerce locaux, les services hospitaliers, l'enseignement, la propriété et les droits civils, la création de tribunaux et l'administration de la justice. Il existe aussi des domaines dans lesquels le Parlement fédéral et les législatures provinciales se partagent les compétences.

Rôle de l'autorité fédérale vis-à-vis de l'industrie nucléaire

L'industrie de l'uranium canadienne tombe entièrement sous la juridiction fédérale, en vertu de la Loi sur le contrôle de l'énergie atomique de 1946. Toutes les opérations liées à l'exploitation de l'uranium au Canada se déroulent dans des installations classées « nucléaires » et sont réglementées par la CCEA, conformément aux dispositions de la loi et aux règlements qui en découlent. Bien que les activités d'extraction de l'uranium aient toujours été soumises aux prescriptions de la loi et de ses règlements, un système strict d'autorisation a néanmoins été instauré en 1976. La CCEA ne délivre des autorisations pour l'exploitation de mines d'uranium qu'après s'être assurée qu'elles n'auront pas d'incidences significatives sur la santé et la sécurité du personnel des mines et du public et avoir examiné les mesures destinées à garantir une protection suffisante de l'environnement. En outre, la CCEA a toujours imposé aux titulaires d'une autorisation d'exploitation de l'uranium de prendre les mesures nécessaires pour réduire l'exposition des mineurs aux rayonnements jusqu'au niveau le plus bas que l'on peut raisonnablement atteindre. Grâce aux progrès considérables de la radioprotection, les risques de cancer ont beaucoup diminué depuis les débuts de l'extraction de l'uranium au Canada. La CCEA régit aussi la gestion des déchets, afin que l'impact radiologique des résidus d'uranium du Canada ne comporte pas de risques inconsidérés pour la santé publique et l'environnement.

Protection de l'environnement par les autorités provinciales

Au Canada, la responsabilité de la protection de l'environnement est partagée par tous les niveaux de gouvernement. De plus en plus conscient du rôle essentiel de l'évaluation environnementale dans l'intégration harmonieuse des impératifs économiques et environnementaux, l'Ontario, qui était déjà un gros producteur d'uranium, a été la première province, en 1975, à émettre sa propre Loi d'évaluation environnementale. L'année suivante, peu avant de devenir le premier producteur d'uranium du Canada, la Saskatchewan a instauré un Service d'évaluation de l'impact sur l'environnement au sein de son Ministère de l'Environnement et, en 1977, a commencé à contrôler étroitement et à réglementer son industrie d'extraction de l'uranium, en réponse aux inquiétudes grandissantes de la population au sujet des projets d'exploitation de nouvelles mines d'uranium dans le bassin de l'Athabasca. Le gouvernement provincial a nommé la Commission d'examen de *Cluff Lake* en 1977 et la Commission d'examen de *Key Lake* en 1979, afin qu'elles examinent les projets d'exploitation d'uranium de *Cluff Lake* et *Key Lake*, respectivement, par une procédure d'audience publique. Au cours de ces consultations, le public a fait part de ses préoccupations au sujet de la protection de l'environnement, de la santé et de la sécurité du personnel, de l'évolution économique et des avantages pour la population locale. De l'avis des deux commissions d'examen, les mesures proposées par l'industrie de l'uranium étaient suffisantes pour préserver la qualité de l'environnement, garantir l'hygiène et la sécurité au travail, et répondaient de façon satisfaisante aux exigences des lois, règlements et politiques du Canada et de la Saskatchewan.

À la suite de ces études et d'autres non liées à l'uranium, le gouvernement de la Saskatchewan a promulgué une nouvelle Loi d'évaluation environnementale en 1980, et créé des unités spéciales au sein de ses Ministères de l'Environnement et du Travail, chargées d'autoriser et d'inspecter les mines d'uranium. Les processus d'examen et de réglementation des évaluations environnementales de la Saskatchewan ont été harmonisés avec les examens fédéraux-provinciaux des nouveaux projets d'extraction de l'uranium, comme le précise le présent rapport dans une section ultérieure.

Le processus fédéral d'évaluation et d'examen en matière d'environnement

Le processus fédéral d'évaluation environnementale a été instauré parallèlement aux procédures provinciales. Établi à l'origine par une Directive du Cabinet en 1973, et consolidé par quelques améliorations en 1977, le processus fédéral d'évaluation et d'examen en matière d'environnement a été mis en place afin que les risques pour l'environnement de tous les projets où interviennent autorités fédérales soient évalués le plus en amont possible de la phase de planification. Le processus d'évaluation et d'examen en matière d'environnement a été expressément mis en œuvre pour contribuer à la prévision des incidences possibles sur l'environnement de toutes les propositions qui supposent une initiative ou une décision des autorités fédérales. Le Bureau fédéral d'examen des évaluations environnementales a été créé en vue de superviser ce processus au sein du Ministère fédéral de l'Environnement.

En 1984, le Gouverneur général en conseil a approuvé un Décret sur les Lignes directrices visant le processus d'évaluation et d'examen en matière d'environnement (PEEE) destiné à clarifier les règles, les procédures et les responsabilités qui s'y rapportent et qui avaient évolué de façon informelle sous des directives antérieures du Cabinet. Le Décret visant le PEEE contenait un processus d'évaluation détaillé visant toutes les propositions qui incluraient une « entreprise ou activité à l'égard de laquelle le gouvernement du Canada participe à la prise de décisions ». Dans ce contexte, il était entendu que « la participation à la prise de décisions » portait sur des propositions « devant être réalisées directement par un ministère responsable, pouvant avoir des répercussions environnementales sur une question de compétence fédérale, pour lesquelles le gouvernement du Canada s'engage financièrement, ou devant être réalisées sur des terres administrées par le gouvernement du Canada, y compris la haute mer ». Bien que les projets menés par le secteur privé ne soient pas couverts, à moins qu'ils ne fassent intervenir les autorités fédérales, par exemple pour délivrer une autorisation, les réglementations provinciales, en revanche, sont susceptibles de s'appliquer à tous les projets qui sont exécutés sur le territoire de la province. Comme on pourra le voir plus loin, l'examen en cours de six projets d'extraction d'uranium au Canada tombe sous le Décret sur les lignes directrices visant le processus d'évaluation et d'examen en matière d'environnement de 1984.

Le Décret visant le PEEE se prêtait à une application assez souple et de nombreux points étaient sujets à interprétation. Avec le temps, la nécessité de renforcer, de clarifier et de réformer le processus d'évaluation environnementale est apparue clairement ; une révision du processus a été entamée en 1987. Toutefois, le Décret n'a guère soulevé d'opposition jusqu'en 1989/90, où deux décisions de la Cour d'appel fédérale ont illustré la nécessité d'une réforme. Pour répondre à l'accusation des défenseurs de l'environnement, selon laquelle les autorisations de construire les barrages sur les cours du Rafferty-Alameda et de l'Oldman, dans l'ouest du Canada, avaient été accordées sans évaluation environnementale, la Cour a décrété que ce qui était considéré comme ayant été une ligne directrice facultative constituait en fait une loi exécutoire d'application générale, qui imposait des obligations supplémentaires aux responsables fédéraux. Dans les faits, cette décision

a donné force de loi au Décret visant le PEEE. Ces décisions de la Cour attestent une évolution des valeurs de la population, mais elles ont surtout eu pour effet d'accélérer la réforme. Comme le Décret n'avait pas été rédigé dans une optique juridique rigoureuse, son administration s'est heurtée à des difficultés et à des incertitudes incontestables, qui ont imposé des révisions destinées à lui donner force de loi et à le rendre efficace, équitable, expéditif et ouvert. [Voir la section consacrée à la Loi canadienne sur l'évaluation environnementale pour un exposé complet de la nouvelle législation.]

Commissions d'évaluation environnementale indépendantes chargées de réaliser l'examen public d'une proposition

Avant d'aborder les aspects du processus d'évaluation et d'examen en matière d'environnement qui se rapportent à l'exploitation de l'uranium, il convient de noter que tous les nouveaux projets d'extraction d'uranium sont automatiquement soumis par la CCEA à un examen public et que cet examen requiert la constitution d'une commission d'évaluation environnementale. Comme on pourra le voir plus loin, une bonne partie des inquiétudes exprimées par les pouvoirs publics et l'industrie se rapportaient aux activités de ces commissions indépendantes chargées de mener l'examen public.

En avril 1991, six projets d'extraction de l'uranium ont été soumis à un examen public par la CCEA. Une *Commission conjointe fédérale-provinciale (de cinq membres) sur des projets d'exploitation de mines d'uranium dans le nord de la Saskatchewan* a été nommée en août 1991 pour évaluer les projets *Cluff Lake Dominique-Janine Extension (DJX)*, *Midwest Joint Venture (MJV)* et *McClellan Lake*. Une *Commission fédérale (de quatre membres) d'évaluation environnementale de la mine d'uranium de Rabbit Lake* a été nommée en novembre 1991, pour mener des audiences publiques au sujet du projet d'extension *Eagle Point/Collins Bay A & D*, situé également dans le nord de la Saskatchewan. (Les détails des recommandations de ces deux commissions et les réponses du gouvernement à ces recommandations figurent dans *les comptes rendus de cas*).

Soulignons que sur les six propositions d'extraction d'uranium soumises en 1991 à une commission d'évaluation environnementale, conformément au Décret visant le PEEE, trois seulement avaient été complètement examinées avant la promulgation de la Loi canadienne sur l'évaluation environnementale, en janvier 1995. Néanmoins, les trois projets d'extraction d'uranium en suspens seront évalués en application du Décret sur les lignes directrices, car les commissions d'évaluation environnementale ont été créées avant la promulgation de la Loi canadienne sur l'évaluation environnementale.

Problèmes liés au processus d'évaluation et d'examen en matière d'environnement, notamment les chevauchements/doubles emplois et le champ d'application

Comme indiqué plus haut, les gouvernements du Canada et de la Saskatchewan ont élaboré chacun de son côté des processus d'examen et d'évaluation des incidences sur l'environnement pour les projets dans lesquels leur intervention serait requise. Par ailleurs, tous les échelons du gouvernement exercent aussi des responsabilités réglementaires précises concernant divers aspects de l'exécution des projets d'extraction d'uranium.

Conformément au Décret sur les lignes directrices visant le processus fédéral d'évaluation et d'examen en matière d'environnement, la CCEA a dressé une liste de critères systématiques applicables aux propositions telles que les nouvelles installations d'extraction de l'uranium. Le

développement ou l'agrandissement des installations existantes est entré dans le champ d'application de plusieurs articles du Décret sur les lignes directrices, à la suite d'un examen préalable conduit par la CCEA. Lorsque six projets d'extraction d'uranium en Saskatchewan ont été soumis (voir *les comptes rendus de cas* ci-après) à un examen public par une commission d'évaluation environnementale, conformément au processus d'évaluation et d'examen en matière d'environnement, il est apparu clairement que l'existence de processus parallèles aux niveaux provincial et fédéral feraient inutilement double emploi.

Constatant qu'un processus à participation publique comporte les mêmes obligations légales, les pouvoirs publics de la Saskatchewan et de la Confédération ont collaboré étroitement à l'établissement d'un processus d'examen conjoint fédéral-provincial pour cinq des six nouveaux projets d'extraction d'uranium. La Saskatchewan a accepté de soumettre toutes les propositions sauf une à un examen conjoint. Comme la province avait autorisé le projet *Eagle Point/Collins Bay* de la Cameco Corporation en 1988, il a été convenu de l'exclure de l'examen par la Commission conjointe ; il n'a été examiné que par une commission fédérale. Ce travail d'équipe, qui s'est avéré très fructueux, est illustré par deux exemples d'excellente coopération entre les autorités fédérales et la province.

Pour commencer, il était capital de circonscrire le mandat de la Commission conjointe, afin de limiter la portée générale de l'examen, en excluant des thèmes comme la non-prolifération nucléaire et d'autres questions nationales ou internationales sans rapport direct avec les impacts de ces projets d'exploitation d'uranium.

Ensuite, l'achèvement des directives pour l'établissement des énoncés des incidences environnementales des projets de *Cigar Lake* et *McArthur River* a représenté une entreprise de grande ampleur. La Commission conjointe a recueilli les points de vue et les opinions des citoyens au cours de séances destinées à fixer les limites de l'évaluation, et a préparé les directives avec l'aide d'un consultant. Diffusée pour commentaires en juin 1992, la première version de ces directives a sérieusement préoccupé le gouvernement et l'industrie de l'uranium, parce qu'elle semblait élargir la portée de l'examen mené par la Commission conjointe au-delà de son mandat initial. En outre, les directives obligeaient les promoteurs à soumettre des informations commerciales et des données sur le fonctionnement de l'exploitation qui risquaient de compromettre leur position sur le marché ainsi que des données portant sur des aspects sociaux et sanitaires que les intéressés ne pouvaient pas facilement, ou quelquefois pas légalement, obtenir.

La première version des directives ne désignait aucun groupe d'experts pour collecter les informations, alors que ceux-ci pourraient être appelés à fournir un avis spécialisé. La Commission conjointe suggérait aussi aux pouvoirs publics de fournir des conseils et des informations au stade de la collecte des données et de critiquer ensuite les résultats présentés aux audiences publiques, sans s'apercevoir que cela pourrait engendrer des conflits d'intérêt au sein des gouvernements. Pour finir, les directives abordaient des questions ayant trait à certains processus de réglementation, dont on a jugé qu'elles sortaient du mandat de la Commission. En résumé, cette version des directives demandait une grande quantité d'informations, dont beaucoup étaient difficiles à obtenir et certaines n'étaient pas directement pertinentes. Toutes ces observations ont été communiquées à la Commission conjointe qui a ensuite modifié la première version des directives pour l'établissement des énoncés des incidences environnementales.

Application générale et responsabilités au titre du Processus d'évaluation et d'examen en matière d'environnement

Avant de se pencher sur les étapes de l'examen des premiers projets d'exploitation d'uranium confiés à la Commission conjointe, il est utile de définir le rôle des différents acteurs du processus d'évaluation et d'examen en matière d'environnement et le déroulement de ce processus.

Champ d'application du processus d'évaluation et d'examen en matière d'environnement

Selon le Décret sur les lignes directrices visant le processus d'évaluation et d'examen en matière d'environnement, tout ministère, commission ou organisme fédéral, y compris la CCEA, peut être considéré comme un « ministère responsable », autrement dit un ministère ou un organisme qui, au nom du gouvernement du Canada, exerce le « pouvoir de décision » à l'égard d'un projet. Le Décret sur les lignes directrices impose à tous les ministères responsables d'examiner, le plus tôt possible au cours de la phase de planification, les répercussions environnementales des projets.

L'article 12 du Décret sur les lignes intimes aux ministères responsables d'évaluer tous les projets, notamment ceux qui risquent d'avoir des effets néfastes importants sur l'environnement. Lorsqu'il a été déterminé qu'un projet pourrait avoir des effets néfastes ou inconnus, il est soumis au ministre de l'Environnement, en vue d'un examen par une commission indépendante. L'article 13 du Décret sur les lignes directrices stipule que « Nonobstant la détermination des effets d'une proposition, faite conformément à l'article 12, le ministère responsable soumet la proposition au Ministre (de l'environnement) en vue de la tenue d'un examen public par une commission, chaque fois que les préoccupations du public au sujet de la proposition rendent un tel examen souhaitable. »

Lorsque le ministère responsable reçoit le rapport de la commission d'évaluation environnementale, accompagné de ses recommandations, il lui incombe de décider, en coopération avec d'autres ministères, dans quelle mesure le gouvernement du Canada doit les faire siennes. Il convient de préciser que les recommandations formulées par une commission d'évaluation environnementale ont une valeur consultative pour le gouvernement et les organes de réglementation.

Comme indiqué précédemment, les nouvelles installations d'exploitation de l'uranium figurent sur la liste des projets que la CCEA doit soumettre à examen. En 1991, la CCEA a soumis les six propositions d'extraction d'uranium en Saskatchewan au Ministre qui portait à l'époque le titre de « Ministre de l'Énergie, des Mines et des Ressources » (désormais Ministre des Ressources naturelles), pour qu'un examen public soit mené par une commission indépendante. Ces propositions ont été soumises au processus d'évaluation et d'examen en matière d'environnement le plus tôt possible, sur la base de la lettre d'intention de leurs promoteurs et non d'après les demandes d'autorisation proprement dites.

Rôle du Bureau fédéral d'examen des évaluations environnementales

Jusqu'à la promulgation de la Loi canadienne sur l'évaluation environnementale, le Bureau fédéral d'examen des évaluations environnementales était chargé d'administrer le Décret sur les lignes directrices visant le processus d'évaluation et d'examen en matière d'environnement sous l'autorité du Ministre de l'Environnement, et de guider les ministères dans l'exercice de leurs responsabilités en matière d'évaluation environnementale. Lorsque le principe d'un examen public par le biais d'une commission indépendante était arrêté, il incombait au Bureau fédéral d'examen des évaluations

environnementales, en consultation avec le ministère ou l'organisme soumettant la proposition, de rédiger le mandat (de la commission) à approuver par le ministre de l'Environnement, de trouver des personnes susceptibles d'être membres de la commission et de veiller à la mise en place des procédures requises pour la conduite de l'examen public. Quand la commission avait achevé son travail, le Bureau fédéral d'examen des évaluations environnementales transmettait le rapport de cette dernière au Ministre de l'Environnement et au Ministre responsable du ministère ou de l'organisme à l'origine de la proposition. En préparant la réponse du gouvernement, le Bureau fédéral d'examen des évaluations environnementales prenait généralement l'initiative d'accorder toute l'attention requise aux recommandations de la commission, pour faire en sorte que le gouvernement respecte l'intégrité du processus.

Rôle de la commission d'évaluation environnementale chargée de mener l'examen public

Le Ministre de l'Environnement nomme pour siéger dans la commission d'évaluation environnementale des personnalités indépendantes qui ont pour tâche d'examiner les effets possibles de la proposition sur l'environnement ainsi que les répercussions sociales directement liées à ces effets. Sous réserve de l'approbation du Ministre de l'Environnement et du Ministre de tutelle de l'organisme responsable, la commission peut aussi étudier les effets socio-économiques généraux ainsi que la technologie et l'opportunité de nouvelles propositions. Une commission est habilitée à établir à l'intention du promoteur des lignes directrices pour l'élaboration d'un énoncé des incidences environnementales et à mener des audiences publiques se rapportant au projet. La commission doit rédiger un rapport contenant ses conclusions ainsi que les recommandations pour permettre aux autorités de se prononcer. La commission tient compte dans ses recommandations de toutes les informations qui lui ont été communiquées, notamment les préoccupations exprimées par les participants aux audiences publiques.

Rôle des ministres fédéraux

Selon le Décret sur les lignes directrices visant le processus d'évaluation et d'examen en matière d'environnement, il incombe généralement au Ministre responsable d'un ministère, d'une commission ou d'un organisme de soumettre au Ministre de l'Environnement tout projet susceptible d'avoir des effets néfastes importants sur l'environnement (ou des projets qu'il est souhaitable de soumettre à un examen public, en raison des inquiétudes exprimées par le public), en vue de la tenue d'un examen public par une commission indépendante. En tant que responsable du Bureau fédéral d'examen des évaluations environnementales, le Ministre de l'Environnement nomme les membres de la commission et établit son mandat concernant l'examen public. Il appartient au Ministre de l'Environnement et au Ministre chargé du ministère responsable de rendre public le rapport de la commission. Tous les ministres compétents, y compris le Ministre de l'Environnement, participent aux décisions prises sur la base des rapports des commissions. Lorsqu'elles prennent leur décision, les autorités responsables, y compris les ministres compétents, doivent tenir compte du rapport de la commission, mais elles sont autorisées à étudier d'autres sources d'information et à formuler des jugements de valeur différents.

Les propositions traitées par la CCEA ont un statut à part, car nombre des recommandations des commissions sont du ressort de la Commission, qui jouit d'une indépendance considérable en tant qu'organisme de réglementation. Si le Ministre des Ressources naturelles est habilité à adresser des directives spéciales à la CCEA, il n'exerce normalement cette faculté que dans des circonstances

exceptionnelles. Les recommandations sont adressées, soit à la CCEA, soit au gouvernement, selon qu'elles ont ou non trait aux conditions éventuelles d'autorisation.

Rôle de la Commission de contrôle de l'énergie atomique

La Commission de contrôle de l'énergie atomique (CCEA), qui est un organisme fédéral indépendant de réglementation créé pour contrôler et superviser le développement, l'application et l'utilisation de l'énergie nucléaire, répond de ses activités devant le Parlement, par l'intermédiaire du Ministre des Ressources naturelles. Comme indiqué précédemment, l'un des rôles de la CCEA consiste à réglementer l'extraction de l'uranium afin qu'il n'en résulte pas de risques inconsidérés du point de vue de la santé, de la sécurité, de la sûreté et de l'environnement.

Les demandes d'autorisation adressées à la CCEA pour un projet ayant fait l'objet d'un examen public par une commission doivent encore être examinées par le personnel de la CCEA, qui reçoit le concours d'autres instances gouvernementales telles que les ministères fédéraux de l'Environnement, des Pêches et des Océans, du Développement des ressources humaines et leurs homologues provinciaux. Ces instances forment le Groupe mixte d'examen et cette procédure consultative s'intitule « Processus conjoint de réglementation ». Le personnel de la CCEA intègre ensuite tous les commentaires pertinents du Groupe mixte d'examen et de la commission d'évaluation environnementale dans une recommandation stipulant les actions appropriées en matière d'autorisation, à l'intention des cinq membres du comité directeur de la CCEA. Si ce comité juge la proposition acceptable du point de vue de la santé, de la sécurité, de la sûreté et de l'environnement, il délivre une autorisation.

Études de cas – projets engagés dans le processus d'évaluation et d'examen en matière d'environnement

En avril 1991, six projets d'extraction d'uranium en Saskatchewan ont été soumis par la CCEA pour examen public. Ces six propositions, qui ont été parmi les premières à suivre le processus d'évaluation et d'examen en matière d'environnement, sont arrivées à un moment très critique, en pleine polémique à propos de la décision de la Cour d'appel mentionnée plus haut. Les cinq projets examinés par la Commission conjointe ont été soumis en vertu de l'article 12 du Décret sur les lignes directrices visant le processus d'évaluation et d'examen en matière d'environnement, tandis que le sixième projet, examiné par la Commission fédérale, a été soumis en application de l'article 13 de ce même Décret. Leurs mandats respectifs ayant été établis, les deux commissions ont chacune entamé leurs examens à la fin de l'année 1992.

La Commission conjointe a ouvert ses audiences publiques pour les trois premiers des cinq projets d'extraction d'uranium le 22 mars 1993 et clôturé cette phase de l'examen le 20 mai 1993. La Commission fédérale a également commencé ses audiences publiques au début de l'année 1993. Le marathon des audiences de la seule Commission conjointe s'est échelonné sur 20 jours ; il a débuté à Regina et s'est achevé à Saskatoon, en passant par six localités du nord de la Province. Les séances ont duré en moyenne 10 heures par jour, mais se sont souvent prolongées pendant 12 heures. Quelque 300 pétitionnaires ont exprimé leurs opinions et leurs positions lors de réunions publiques regroupant une moyenne de 80 participants. Les gouvernements provincial et fédéral ont débloqué environ 500 000 dollars US pour aider les intervenants à préparer les exposés qu'ils présenteraient aux audiences des deux commissions. Les deux échelons du gouvernement ont défendu officiellement les trois projets aux audiences de la Commission conjointe, pendant la séance d'ouverture à Regina et ont

déposé des arguments supplémentaires lors des séances de clôture à Saskatoon. On estime que l'évaluation environnementale des quatre projets d'exploitation de l'uranium examinés jusqu'à présent a coûté près de 3 millions de dollars US.

Le processus suscitait moins d'appréhension à la fin de la phase des audiences publiques qu'au début, mais la conclusion de ces examens ne devait pas être rendue publique avant la parution des rapports des commissions, à la fin de l'année 1993.

Il convient également de signaler qu'au début de l'année 1993, lorsque les deux commissions ont entamé leurs examens respectifs, les énoncés des incidences environnementales des projets de *Cigar Lake* et *McArthur River* n'étaient pas terminés, si bien que l'examen de ces deux projets a été remis à une date ultérieure. D'autre part, en 1992, le gouvernement a demandé à la Commission conjointe d'examiner un programme d'exploration souterraine concernant le projet de *McArthur River*, afin de réunir les données nécessaires à la préparation d'un énoncé des incidences environnementales de l'ensemble du projet. Dans son rapport, paru au début de l'année 1993, la Commission a donné son feu vert à la mise en œuvre du programme d'exploration souterraine sous certaines conditions. Les deux gouvernements ont marqué leur accord et les travaux ont commencé dès que cela a été possible.

Recommandations des commissions d'évaluation environnementale

Fin 1993, la Commission conjointe a recommandé que le projet *DJX* soit réalisé, sous certaines conditions, que le projet *MJV* ne soit pas mené à bien en l'état, et que le projet de *McClean Lake* soit différé de cinq ans. La Commission fédérale a préconisé que l'abattage souterrain à plein régime du corps de minerai *Eagle Point* soit approuvé, à certaines conditions, mais que l'autorisation de l'extraction à ciel ouvert des corps de minerai A et D de *Collins Bay* soit suspendue tant que les promoteurs ne fourniraient pas d'informations techniques supplémentaires sur la gestion des roches stériles et le démantèlement.

Au début de l'année 1994, la Cogéma a annoncé qu'elle avait décidé de modifier ses plans concernant la réalisation du projet *DJX* à *Cluff Lake* et soumis des révisions aux autorités chargées de la réglementation. Le plan d'extraction en trois phases révisé ne nécessiterait plus le barrage et le drainage partiel de l'extrémité nord de *Cluff Lake*, mais il faudrait que la Cogéma exploite des portions plus profondes du corps de minerai *DJX* par extraction souterraine, après une phase initiale d'extraction à ciel ouvert.

Réaction et réponse des gouvernements

Les gouvernements fédéral et provincial ont répondu aux recommandations de la Commission conjointe, le 23 décembre 1993. Les deux gouvernements sont convenus que le projet *DJX* devait être réalisé tel qu'il avait été soumis, sous réserve de l'autorisation de la CCEA, que le projet *MJV* comportait des risques potentiels et ne devait pas être mené à bien en l'état, et que le projet de *McClean Lake* pouvait être réalisé sous réserve de l'autorisation normale de la CCEA. Les gouvernements ont conclu que les questions techniques soulevées par la Commission conjointe pourraient être examinées dans le cadre de la procédure d'autorisation de la CCEA, procédure qui laisserait suffisamment de temps aux promoteurs pour traiter ces questions avant que le projet de *McClean Lake* ne soit mis en œuvre.

La CCEA a considéré que les modifications proposées par la Cogéma atténuaient l'impact du projet sur l'environnement par rapport à celui évalué initialement, et que cet impact pourrait donc être maîtrisé adéquatement. La CCEA a néanmoins invité le public à émettre des commentaires sur la proposition de modification de la méthode d'extraction du corps de minerai *DJX*, afin de s'assurer que la demande d'autorisation de la Cogéma ne suscitait pas d'inquiétudes majeures parmi la population. N'ayant reçu que quelques commentaires mineurs, la CCEA a conclu que le projet pouvait être réalisé dans sa deuxième version.

En mars 1994, le gouvernement fédéral et la Commission fédérale ont accepté la proposition d'abattage souterrain à *Eagle Point*, sous réserve de l'autorisation de la CCEA, mais ont également approuvé l'extraction à ciel ouvert des corps de minerai A et D à *Collins Bay*, sous réserve de l'autorisation de la CCEA. Cette dernière étudiera les conditions recommandées par la Commission fédérale pendant l'évaluation des demandes d'autorisation et exigera des informations circonstanciées sur la gestion des roches stériles et le déclassement, conformément à la recommandation de la Commission fédérale.

Le 29 juillet 1994, la CCEA a soumis la version amendée de modification du projet *Midwest Joint Venture* au Ministre de l'Environnement, pour examen public. Le projet devrait être examiné par la Commission conjointe actuelle en même temps que le projet de *Cigar Lake*. Les mandats ont été préparés en étroite consultation avec le Ministère de l'Environnement et de la gestion des ressources de la Saskatchewan et le Bureau fédéral d'examen des évaluations environnementales. Le 9 novembre 1994, le projet *MJV* révisé a été soumis par les ministres fédéral et provincial de l'Environnement pour examen par la Commission conjointe. Les énoncés des incidences environnementales des projets *MJV* et de *Cigar Lake* devraient être soumis au cours de l'été 1995 ; afin que l'examen public puisse débiter dès que possible.

Nouvelle législation du Canada – la Loi canadienne sur l'évaluation environnementale

En juin 1990, le gouvernement du Canada a présenté le projet C-78 de Loi canadienne sur l'évaluation environnementale, qui contient une réforme globale du processus d'évaluation et d'examen en matière d'environnement. À l'époque, le gouvernement pensait que cette loi était sans équivalent dans le monde pour intégrer dans le processus de prise de décision et l'esprit des décideurs la nécessité de protéger l'environnement. Le gouvernement prévoyait que le Décret sur les lignes directrices visant le processus d'évaluation et d'examen en matière d'environnement resterait en vigueur jusqu'à la promulgation de la nouvelle loi, mais le projet de loi C-78 a été enterré lorsque le Parlement s'est séparé au début du mois de mai 1991.

La loi, réintroduite par le projet C-13 devant le nouveau Parlement, plus tard dans le courant du mois de mai 1991, comportait de nombreux amendements qui ont appelé d'autres commentaires de la part des représentants des associations de défense de l'environnement et de l'industrie. Pendant ce temps, les recours contre les décisions de justice susmentionnées ont amené la Cour suprême du Canada à confirmer la constitutionnalité du Décret sur les lignes directrices visant le processus d'évaluation et d'examen en matière d'environnement, en janvier 1992, et à rendre ainsi l'application du décret obligatoire pour tous les responsables fédéraux. Les propositions de réglementation exposées dans le projet de loi C-13 ont été examinées dans tout le Canada et le projet a finalement été adopté par la Chambre des communes en mars et par le Sénat en juin ; la sanction royale lui a été accordée le 23 juin 1992. La mise au point de toutes les réglementations et procédures d'application nécessaires a pris un temps considérable, et ce n'est que le 19 janvier 1995 que la Loi canadienne sur

l'évaluation environnementale a été promulguée par un Décret en Conseil. Les projets seront désormais examinés en vertu de la Loi canadienne sur l'évaluation environnementale, toutefois, comme indiqué précédemment, les projets d'extraction d'uranium en Saskatchewan continueront de relever du Décret sur les lignes directrices visant le processus d'évaluation et d'examen en matière d'environnement. L'Agence canadienne d'évaluation environnementale, (ex-Bureau fédéral d'examen des évaluations environnementales), supervisera le nouveau processus d'évaluation environnementale.

La nouvelle Loi canadienne sur l'évaluation environnementale remplace l'ancien Décret sur les lignes directrices visant le processus d'évaluation et d'examen en matière d'environnement et statue, pour la première fois dans la législation, sur les responsabilités et les procédures relatives à l'évaluation environnementale des projets relevant des autorités fédérales. Cette nouvelle loi comporte moins d'incertitudes juridiques et laisse moins de place à des interprétations devant être tranchées par la cour, elle établit un processus rationalisé et assigne le développement durable comme objectif fondamental au processus fédéral. La Loi canadienne sur l'évaluation environnementale prévoit un processus d'évaluation environnementale visant les nouveaux projets et un programme d'aide financière aux participants pour soutenir la participation de la population .

Les réformes contribueront à l'intégration des considérations d'environnement dans les processus décisionnels fédéraux et favoriseront l'harmonisation des systèmes d'évaluation environnementale à l'échelle du pays. En apportant un certain degré de fiabilité au processus, les réformes feront aussi gagner du temps et de l'argent à tous les participants.

La Loi canadienne sur l'évaluation environnementale s'applique à tous les projets à l'égard desquels le gouvernement du Canada exerce le pouvoir de décision en tant que promoteur, administrateur du territoire domaniale, pourvoyeur de fonds ou responsable de la réglementation (s'agissant des statuts stipulés). Le processus régi par la nouvelle Loi canadienne sur l'évaluation environnementale est semblable au processus d'évaluation et d'examen en matière d'environnement à bien des égards, mais il comprend plusieurs changements importants. Il s'agit des définitions du « projet » et des « effets environnementaux », de l'introduction de nouvelles étapes, « l'étude approfondie » et la « médiation », dans le processus d'évaluation environnementale d'un projet , de l'obligation de tenir à jour un registre public où sont consignés tous les documents liés à l'évaluation, de l'obligation d'envisager la nécessité d'un programme de suivi et de la participation obligatoire du public à certaines phases définies de l'évaluation environnementale.

La Loi canadienne sur l'évaluation environnementale énonce quatre objectifs : « i) faire de sorte que les effets environnementaux éventuels d'un projet soient examinés avec attention avant que les autorités ne prennent une décision, ii) inciter ces autorités à favoriser un développement durable, iii) faire en sorte que les projets mis en œuvre au Canada ou sur les territoires fédéraux ne couvrent pas de nuisances environnementales significatives à l'extérieur des juridictions où ils sont mis en œuvre, et iv) veiller à ce que le public ait la possibilité de participer au processus d'évaluation environnementale ».

En outre, l'application de la Loi canadienne sur l'évaluation environnementale doit obéir à quatre principes directeurs.

Mise en œuvre rapide : le processus doit être mis en œuvre le plus tôt possible au cours de l'étape de la planification d'un projet et avant que des décisions irrévocables ne soient prises.

Obligation de rendre compte : l'auto-évaluation des projets par les ministères et les organismes fédéraux pour identifier leurs effets environnementaux constitue la pierre angulaire du processus. Le Cabinet doit répondre aux recommandations figurant dans le rapport de la commission d'évaluation environnementale, en prenant une décision par un Décret en Conseil.

Efficacité et rentabilité : chaque projet ne devrait être soumis qu'à une seule évaluation environnementale et les efforts consacrés à l'exécution de l'évaluation devraient être proportionnels aux effets environnementaux probables dudit projet.

Transparence et participation : La participation du public est un élément important d'un processus d'évaluation environnementale transparent et équilibré. Un fonds de participation du public est créé pour encourager la population à prendre effectivement part au processus.

Conclusion – le processus d'évaluation environnementale du Canada pris comme modèle

Le processus d'évaluation environnementale du Canada a évolué vers un ensemble de procédures assez complexe, faisant intervenir tous les échelons du gouvernement, le public et les promoteurs. En mûrissant, ce processus ne cessera d'être perfectionné par l'apport de tous les acteurs. Les difficultés rencontrées jusqu'à présent seront résolues, mais les nouveaux problèmes qui ne manqueront pas de surgir demanderont d'autres solutions. Le processus d'évaluation environnementale du Canada est réellement dynamique.

L'évaluation environnementale fait désormais partie intégrante de la conception des nouveaux projets. Elle est l'un des éléments d'une conception technique fiable. À telle enseigne que le financement des nouveaux projets est subordonné à la réduction maximale de la responsabilité en matière d'environnement. La voie est tracée et continuera à être suivie.

Lorsque la réalisation de plusieurs nouveaux projets d'extraction de l'uranium a été proposée en Saskatchewan, les gouvernements fédéral et provincial ainsi que l'industrie de l'uranium se sont inquiétés des répercussions potentielles de ce qui semblait être un processus d'examen public plutôt lourd. Toutefois, le fait que trois de ces projets aient franchi avec succès les étapes du processus a dissipé une grande partie de ces interrogations et confirmé que toutes les opérations liées à la production d'uranium au Canada pouvaient satisfaire à des normes d'hygiène, de sécurité et d'environnement élevées.

Au Canada, le processus d'évaluation environnementale a eu une incidence profonde sur la réalisation des nouveaux projets d'extraction de l'uranium. Il a modifié la manière de concevoir les projets et changera les modalités de leur mise en œuvre. Ce processus a pris beaucoup de temps et s'est souvent heurté à des difficultés, mais il a fait apparaître que ces nouvelles propositions d'extraction d'uranium étaient acceptables pour l'environnement et peuvent le demeurer tout au long de leur réalisation.

Le gouvernement du Canada est convaincu que le processus d'évaluation environnementale a contribué à démontrer que les nouveaux projets d'extraction d'uranium sont conduits de façon responsable, et prennent pleinement en considération les impacts potentiels et les inquiétudes du public au sujet de ces installations. L'expérience canadienne pourrait s'avérer utile à d'autres instances qui projettent de lancer nouveaux projets de production d'uranium. Mais il est bien clair que tous les processus sont perfectibles ; les autorités fédérales et provinciales œuvreront en étroite collaboration avec l'industrie de l'extraction d'uranium à améliorer dans toute la mesure du possible l'évaluation

environnementale, afin de réduire les coûts et la durée des examens, dans le respect des objectifs fondamentaux.

Le surcroît de valeur accordé à l'évaluation environnementale dans le monde peut aussi avoir des retombées sur les échanges d'uranium. Le Parlement suédois a examiné depuis peu une proposition visant de contraindre tous les acheteurs d'uranium à payer pour les dégâts causés à l'environnement par l'extraction de l'uranium dans d'autres pays. Cette initiative confirme la prise de conscience de plus en plus vive que les considérations d'environnement pourraient avoir un impact imprévu sur les marchés mondiaux. Le processus exemplaire d'évaluation environnementale du Canada pourrait conférer une longueur d'avance aux producteurs d'uranium canadiens.

L'influence réelle du processus d'évaluation environnementale du Canada pourrait se mesurer à l'aune de l'exportation du « modèle canadien ». La technologie relative à la prospection et à l'extraction de l'uranium déployée par le Canada, qui est le premier fournisseur mondial d'uranium, suscite un très grand intérêt. Si cet intérêt s'étend à son expérience réussie en matière d'évaluation environnementale, la somme des connaissances acquises au Canada pourrait être profitable à d'autres instances qui envisagent la réalisation de nouveaux projets de production d'uranium.

POINT SUR LES POLITIQUES ET LES PROGRAMMES VISANT LA GESTION DES DÉCHETS RADIOACTIFS AU CANADA

Faits marquants pour l'industrie de l'uranium

Vue d'ensemble

Les perspectives de l'industrie de l'uranium au Canada se sont améliorées en 1996. Divers facteurs limitaient l'offre d'uranium et les prix spot ont augmenté parce que les consommateurs achetaient des quantités croissantes aux producteurs primaires. Les prix spot ont plafonné à la fin de l'année 1996 mais au début de l'année suivante les prévisions concernant l'industrie de l'uranium au Canada demeuraient favorables.

Les travaux de réalisation du projet de *McClellan Lake* se déroulent dans les délais. Ce site abritera la première nouvelle installation de production d'uranium depuis que la mine de *Key Lake* est entrée en activité en 1982. Sous réserve d'approbation, le minerai extrait de *Cigar Lake* et *Midwest* sera traité dans les installations de *McClellan Lake*, où la production combinée annuelle d'uranium pourrait dépasser 9 000 tonnes. Le projet de *McArthur River*, qui a été approuvé récemment, alimentera en minerai les installations de *Key Lake*, et prolongera ainsi considérablement leur durée de vie utile.

Évaluation des ressources en uranium

L'estimation des ressources connues en uranium du Canada a été fortement revue à la hausse, en grande partie grâce au succès remporté par le programme d'exploration souterraine conduit à *McArthur River*. Comme moins d'un cinquième de la structure minéralisée du site de *McArthur River* a été prospecté en détail par forages souterrains, il est fort probable que les ressources totales soient encore plus abondantes. Au 1^{er} janvier 1996, les ressources connues présentant un intérêt économique

se chiffraient à 490 000 tonnes métriques d'uranium. Avec la fermeture de la mine Stanleigh à *Elliot Lake* dans l'Ontario, au milieu de l'année 1996, les ressources connues ont été ramenées à 430 000 tonnes d'uranium au 1^{er} janvier 1997.

Procédure fédérale d'examen des évaluations environnementales

En 1996, la Commission conjointe fédérale-provinciale des projets d'exploitation de mines d'uranium dans le nord de la Saskatchewan a demandé des informations supplémentaires à propos des projets Midwest, de Cigar Lake et de McArthur River. La Commission s'est réunie une deuxième fois et a mené des audiences publiques portant sur ces trois projets durant la deuxième moitié de l'année 1996. Les promoteurs ont dû à nouveau fournir un complément d'information sur un nouveau plan d'évacuation des résidus pour le projet McClean. La Commission a déclaré que les informations fournies n'étaient pas suffisantes pour que le processus se poursuive, mais on espère que les promoteurs des projets Midwest et de Cigar Lake seront en mesure de livrer les données nécessaires, pour que les audiences puissent se clôturer au début de l'année 1997. La Commission a achevé l'examen du projet de McArthur River à la fin de l'année 1996 et a commencé à rédiger ses recommandations à l'intention des gouvernements. Au début de l'année 1997, elle a soumis son rapport aux gouvernements, qui y ont répondu avant le milieu de l'année en approuvant le projet.

Autres faits marquants

Comme prévu, Rio Algom Limited a fermé le 30 juin 1996 son installation Stanleigh à *Elliot Lake*, dans l'Ontario, mettant ainsi fin à 40 années de production d'uranium au Canada. Durant le premier semestre de 1996, Rio Algom aurait expédié plus de 400 tonnes d'uranium provenant de la mine Stanleigh à Ontario Hydro.

Grâce à l'achèvement en juin 1995 de la nouvelle installation de recyclage d'un montant de 10 millions de dollars canadiens construite par la Cameco Corporation à *Blind River* dans l'Ontario, les opérations de mise en route ont pu se poursuivre en 1996. À l'aide d'un procédé innovant qui convertit en poudre sèche les sous-produits obtenus sous forme de raffinats liquides, cette installation diminuera les volumes de 75%. Ces solides seront stockés sur place avant d'être traités dans une autre installation en vue de la récupération ultime de l'uranium restant. Cameco a mis ce procédé au point pour réduire les volumes de sous-produits, à la suite de la fermeture de la mine Stanleigh à *Elliot Lake*, au nord de *Blind River*.

Cameco a conduit une étude pilote en 1996 afin de déterminer la faisabilité de la récupération du nickel et du cobalt dans les résidus de *Key Lake*. Si elle s'avère rentable, une unité d'extraction de 45 millions de dollars canadiens, capable de traiter plus de 800 tonnes de résidus par jour, pourrait entrer en service dès 1998. Le retraitement de plusieurs millions de tonnes de résidus provenant du premier confinement en surface prendrait au moins une dizaine d'années et produirait 3 175 tonnes de nickel et 227 tonnes de cobalt par an. Cette opération effectuée, les résidus pourraient être redéposés dans le nouveau site (Deilmann) de confinement souterrain. La faisabilité technique de l'extraction a été démontrée, mais les perspectives commerciales du cobalt et du nickel au début de l'année 1997 ont entraîné l'ajournement du plan de développement commercial.

Gestion des déchets radioactifs

Cadre d'action pour la gestion des déchets radioactifs

En juillet 1996, le ministre des Ressources naturelles du Canada a annoncé l'approbation d'un Cadre d'action pour la gestion des déchets radioactifs, destiné à orienter l'approche du Canada quant à l'évacuation du combustible nucléaire irradié, de déchets faiblement radioactifs et de déchets de mines d'uranium au Canada. Le Cadre d'action fixe les règles de base afin de poursuivre l'élaboration de dispositions institutionnelles et financières pour que l'évacuation se fasse d'une manière sûre, respectueuse de l'environnement, globale, économique et intégrée. Il incombe au gouvernement fédéral d'élaborer des stratégies et des réglementations, et de veiller à ce que les producteurs et les propriétaires assument leurs responsabilités de financement et d'exploitation, conformément aux plans d'évacuation approuvés de déchets radioactifs. Le Cadre d'action prévoit que les modalités sont susceptibles de varier pour les différents types de déchets.

Résidus d'uranium provenant de l'extraction et du traitement

Le Canada a généré près de 200 millions de tonnes de résidus d'uranium provenant de l'extraction et du traitement, depuis le milieu des années 50. Ils représentent environ 2% de la totalité des résidus d'extraction minière et de traitement du pays. La majorité des résidus d'uranium se trouvent dans les provinces de l'Ontario et de la Saskatchewan. On dénombre vingt-deux sites de stockage de résidus, dont dix-neuf ne sont plus alimentés. Seules les installations de la Saskatchewan sont encore en activité.

S'agissant de la responsabilité financière du démantèlement et de la gestion à long terme des résidus, la politique généralement appliquée au Canada repose sur le principe pollueur-payeur. La CCEA exige des exploitants qu'ils fournissent des garanties financières pour que le démantèlement des installations d'exploitation de l'uranium s'effectue de façon responsable et rationnelle à court et à long terme. Lorsqu'un producteur ou un propriétaire n'est pas en mesure de payer, la responsabilité du déclassement revient aux gouvernements fédéral et provincial.

En janvier 1996, le gouvernement fédéral et le gouvernement de l'Ontario ont signé un Protocole d'entente sur le partage des coûts liés à la gestion des résidus des mines d'uranium abandonnées. Depuis 1984, le Canada et l'Ontario étudiaient la question des responsabilités financières et des responsabilités en matière de gestion, à propos des résidus des mines d'uranium abandonnées. Le protocole d'entente dispose que les producteurs d'uranium passés et présents sont responsables de tous les aspects financiers du démantèlement et de la gestion à long terme des sites des mines d'uranium, y compris les résidus. Dans le cas de sites abandonnés, le protocole d'entente décrit comment les gouvernements se partageront les responsabilités de la gestion à long terme et les coûts y afférents.

Procédure fédérale d'examen des évaluations environnementales

Les plans de démantèlement de quatre sites de mines d'uranium et de stockage de résidus du traitement dans la zone de *Elliot Lake* (Ontario) ont été soumis par la CCEA au Ministre de l'Environnement pour évaluation environnementale et examen par le pouvoir fédéral. C'était la première fois que le démantèlement de sites de stockage de résidus d'uranium était soumis à ce

processus. La *Commission (de trois membres) d'évaluation environnementale de Elliot Lake*, qui a conduit l'examen, a adressé ses recommandations au gouvernement fédéral en juin 1996.

Un examen des plans de déclassement d'un autre site de mine d'uranium dans la région du lac Elliot a été entamé à la fin de l'année 1996. Cet examen sera mené dans le respect des dispositions de la nouvelle Loi canadienne sur l'évaluation environnementale, qui est entrée en vigueur en 1995.

• Chine •

DONNÉES DE BASE SUR L'EXTRACTION ET LE TRAITEMENT DE L'URANIUM

En Chine, l'extraction et le traitement de l'uranium ont débuté en 1956. Ces deux activités sont conduites dans le cadre d'une organisation complète, qui englobe l'exploration, la conception et la construction des installations, et l'exploitation. Les mines et les installations de traitement se répartissent dans quatorze provinces.

Caractéristiques des ressources en uranium

Les ressources chinoises sont caractérisées par la petite taille des gisements, la diversité des minerais et leur faible teneur.

Le tableau 2 montre que le ^{222}Rn forme la plus grande quantité d'effluents radioactifs gazeux, tandis que d'autres nucléides sont comparativement négligeables. S'agissant des radionucléides dispersés en milieu aquatique à la suite de l'extraction et du traitement de l'uranium, le plus important est l'uranium, les autres (^{226}Ra , ^{230}Th , ^{210}Po et ^{210}Pb) tendant à être un peu moins abondants. Le ^{226}Ra arrive en tête des nucléides émis par les installations de traitement.

La répartition des équivalents annuels individuels de dose efficace dans des groupes critiques exposés à l'extraction et au traitement de l'uranium est reproduite au tableau 3.

Tableau 1. Déchets produits au cours de l'extraction et du traitement de l'uranium

	Type	Émanations de radon (Bq/ tonne de minerai)	Effluents dans l'aquifère (tonnes de minerai)	Déchets (tonnes de minerai)	
				Stériles	Résidus
Mines d'uranium	Souterraines À ciel ouvert	$7,01 \times 10^3$	0,3~8,0 0,1~0,6	0,7~1,5 5~8	
Usines de traitement	Tri Traitement	$2,0 \times 10^1$ $5,1 \times 10^2$	0,5~1,0 8,0~10,0		0,2~0,3 ~1,2

Tableau 2. Teneurs moyennes annuelles en nucléides dans des effluents issus de plusieurs mines et installations de traitement de l'uranium sur 30 ans (Bq)

Nucléides		U	²³⁰ Th	²²⁶ Ra	²²² Rn	²¹⁰ Po	²¹⁰ Pb
Mines	gazeux	1,37 x 10 ⁸	6,86 x 10 ⁷	9,68 x 10 ¹³		7,25 x 10 ⁷	6,95 x 10 ⁷
	liquides	1,37 x 10 ¹¹	1,65 x 10 ⁹	1,81 x 10 ¹⁰		1,25 x 10 ⁸	3,48 x 10 ⁸
Usines de concentration	gazeux	2,90 x 10 ⁹	3,25 x 10 ⁷	3,25 x 10 ⁷	5,86 x 10 ¹²	3,25 x 10 ⁷	3,25 x 10 ⁷
	liquides	5,66 x 10 ⁹	5,87 x 10 ⁸	2,59 x 10 ¹⁰		1,46 x 10 ⁹	3,12 x 10 ⁹
Complexe	gazeux	6,00 x 10 ⁸	3,01 x 10 ⁸	3,01 x 10 ⁷	1,78 x 10 ¹⁴	3,01 x 10 ⁸	3,00 x 10 ⁸
	liquides	6,48 x 10 ¹⁰	1,10 x 10 ¹⁰	3,11 x 10 ¹⁰		9,31 x 10 ⁹	1,64 x 10 ¹⁰
TOTAL	gazeux	3,58 x 10 ⁹	3,68 x 10 ⁸	3,94 x 10 ⁸	2,76 x 10 ¹⁴	3,72 x 10 ⁸	3,68 x 10 ⁸
	liquides	1,91 x 10 ¹¹	1,22 x 10 ¹⁰	7,07 x 10 ¹⁰		1,01 x 10 ¹⁰	1,85 x 10 ¹⁰

Tableau 3. Répartition des équivalents annuels individuels de dose efficace (d) dans des groupes critiques exposés à l'extraction et au traitement de l'uranium

Répartition en doses (%)				
	<0,1	>0,1, <0,25	>0,25, <1	>1, <2
Mine	21,2	13,2	9,2	4,0
Installation de traitement	2,2	1,1	9,9	4,0
Complexe	13,9	7,7	14,7	1,1
TOTAL	37,3	22,0	33,8	6,9

Le tableau 3 montre que les groupes critiques reçoivent un équivalent annuel de dose efficace inférieur à 1 mSv dans 93,1% de l'ensemble des installations, inférieur à 0,25 mSv dans 59,3% des installations, et inférieur à 0,1 mSv dans 37,3% des installations. L'équivalent de dose efficace maximum atteint 1,82 mSv.

Tableau 4. Répartition des équivalents de dose pour les groupes critiques dus aux nucléides provenant des effluents gazeux et liquides (H.Sv)

Nucléides	²²² Rn	U	²³⁰ Th	²²⁶ Ra	²¹⁰ Po	²¹⁰ Pb	Total	Pour cent
Gazeux	1,27 x 10 ¹	8,85 x 10 ⁻¹	5,5 x 10 ⁻²	2,75 x 10 ⁻²	1,34 x 10 ⁻²	1,15 x 10 ⁻¹	13,8	76,7
Liquides		2,33-10 ⁻¹	1,35 x 10 ⁻²	9,48 x 10 ⁻¹	5,46 x 10 ⁻²	2,94	4,19	23,3
Total	1,27 x 10 ¹	1,12	6,85 x 10 ⁻²	9,76 x 10 ⁻¹	6,82 x 10 ⁻²	3,06	17,99	
Pour cent	70,6	6,2	0,4	5,4	0,4	17,0		

Le tableau 4 indique pour chaque nucléide les équivalents de dose efficace collectifs, et leur part relative pour les groupes critiques exposés aux effluents radioactifs gazeux et liquides de l'extraction et du traitement de l'uranium. Le ²²²Rn, avec une fraction d'équivalent de 70,6%, contribue le plus à l'équivalent de dose efficace collectif. Les fractions relatives des nucléides ²¹⁰Pb, U, ²²⁶Ra, ²³⁰Th et ²¹⁰Po, cités par ordre décroissant d'abondance, s'élèvent respectivement à 17,6, 6,2, 5,4, 0,4 et 0,4%.

Aspects environnementaux de l'extraction et du traitement de l'uranium

Après 40 années d'exploitation, de nombreuses mines et installations de traitement de l'uranium ont été fermées. Le demantèlement et le réaménagement des sites est à des stades différents d'achèvement. Il subsiste encore quelques problèmes liés au réaménagement :

- la mesure du dégagement annuel moyen de radon ainsi que l'épaisseur et la structure du matériau de couverture ;
- la gestion des effluents miniers liquides et l'évaluation de l'incidence des bassins de décantation sur l'eau souterraine ; et
- l'analyse de la sécurité offerte par le bassin de décantation et la méthode de renforcement.

• Espagne •

RÉGLEMENTATIONS

Loi 25/64, du 29 avril 1964 sur l'énergie nucléaire

Cette loi régit tous les aspects et activités liés aux installations nucléaires, aux installations radioactives ainsi qu'à l'extraction et au transport de matières radioactives en rapport avec la production d'énergie nucléaire.

Loi 15/80, du 22 avril 1980, portant création du Conseil de la sûreté nucléaire (CSN)

Le CSN, qui ne dépend pas de l'administration centrale de l'État, est le seul organisme compétent pour traiter les questions de radioprotection et de sûreté nucléaire. Le mandat du CSN comporte les volets suivants :

- proposer au gouvernement des réglementations visant la sûreté nucléaire et la radioprotection ;
- adresser au Ministère de l'Industrie et de l'Énergie des rapports sur les permis de construction, de mise en service et de fermeture des installations nucléaires et radioactives ;
- conduire toutes formes d'inspections ;
- collaborer aux plans d'intervention d'urgence ;
- surveiller et étudier les niveaux de rayonnement dans les installations et les zones alentour ;
- délivrer les autorisations requises pour le personnel d'exploitation ;
- conseiller les tribunaux administratifs et les institutions publiques ;
- entretenir des relations officielles avec ses homologues étrangers ; et
- informer le public.

Décret 2869/72 du 21 juillet 1972

Ce décret porte approbation des règlements visant les installations nucléaires radioactives et l'énergie nucléaire. Ces règlements statuent sur les autorisations administratives, les installations, les essais et la mise en service, les inspections, le personnel et la documentation. Les usines de traitement du minerai d'uranium sont classées parmi les installations radioactives de la première catégorie et leurs localisation, construction, mise en service, exploitation et fermeture sont soumises à une autorisation.

Décret royal 53/1992 du 22 janvier 1992

Ce décret porte approbation de la réglementation sanitaire concernant les rayonnements ionisants. Cette réglementation vise à fixer des normes fondamentales de radioprotection afin de prévenir les effets biologiques non stochastiques et de limiter la probabilité des effets biologiques stochastiques à des niveaux jugés acceptables pour le personnel exposé professionnellement et pour la population en général, du fait d'activités qui comportant un risque d'exposition aux rayonnements ionisants.

L'Espagne a intégré dans sa législation les Directives n°80/836 et n°84/467 d'Euratom en publiant le Règlement de protection sanitaire contre les rayonnements ionisants

Directives de sûreté visant l'extraction et le traitement de l'uranium publiées par le CSN

GS-5.6	Conditions régissant l'obtention et l'utilisation de permis concernant le personnel dans les installations radioactives	ISBN 84-87275-30-3
GS-5.8	Lignes directrices pour la rédaction d'informations sur l'exploitation d'installations radioactives	ISBN 84-87275-24-9
GS-7.2	Conditions requises pour être reconnu expert en protection contre les rayonnements ionisants et pour être responsable de l'unité ou du service techniques correspondants	ISBN 84-87275-29-X
GS-7.3	Lignes directrices pour la création d'un service de techniques ou d'une unité de protection contre les rayonnements ionisants	ISBN 84-87275-23-0
GS-7.4	(Révision 1) Lignes directrices concernant les soins médicaux à administrer aux personnel exposé aux rayonnements ionisants (surveillance)	ISBN 84-87275-22-2
GS-7.6	Manuels offrant un aperçu des mesures de radioprotection à appliquer dans les installations du cycle du combustible nucléaire	ISBN 84-87275-49-4

DÉMANTÈLEMENT

La réglementation espagnole dispose qu'avant de mettre fin à ses activités de production, le propriétaire d'une installation présente un plan de démantèlement (« Plan de Clausura ») au Ministère de l'Industrie et de l'Énergie (MINER). Le Conseil de la sûreté nucléaire (CSN) évalue ce plan avant d'autoriser le propriétaire à entamer les opérations de démantèlement et de fermeture.

Le plan de démantèlement doit se fonder sur les instructions données par le CSN au propriétaire et se compose des volets suivants :

- L'historique de l'exploitation du site, décrivant ses caractéristiques et procédés et comprenant un inventaire des installations, des stériles et des résidus visés par le démantèlement.
- Les critères de démantèlement utilisés pour analyser les différentes solutions envisagées et les mesures correctrices à adopter pour décontaminer le sol et les matériaux, empêcher la dégradation des barrières et l'intrusion humaine.
- La caractérisation radiologique du site, en prenant en compte le niveau de radioactivité naturelle qui servira de référence pour la réalisation des objectifs du démantèlement ; évaluer les paramètres caractéristiques se rapportant à la météorologie, l'hydrologie, l'hydrogéologie, aux facteurs d'utilisation du sol et de l'eau, à la géologie, la sismicité et la géotechnique, ainsi qu'à la démographie et aux facteurs socio-économiques.
- Les travaux de restauration pour lesquels sont précisées les bases techniques pour planifier la surveillance et le traitement des effluents liquides et des matériaux solides, ainsi que la gestion des déchets. La conception des surfaces de recouvrement et des analyses de stabilité des structures démantelées ainsi que le boisement final des zones concernées sont également définis.
- L'analyse des incidences radiologiques sur le personnel et la population durant les activités de démantèlement et l'impact final sur la population. Au terme des opérations de démantèlement, il faudra évaluer les sources de rayonnement et les différentes voies d'exposition.
- Les procédures de contrôle de qualité garantissant que les opérations sont effectuées conformément aux critères fixés. Ces procédures portent sur des aspects tels que l'organisation, les règles et la conception, la vérification, les consignes d'exploitation et les procédures, la gestion des documents et des archives, les inspections, les audits.
- Un programme de surveillance de la situation radiologique du site après le démantèlement. Ce programme sera mis en œuvre durant une dernière phase de vérification (d'une durée minimale de cinq ans et maximale de 10 ans).

Réaménagement des sites d'évacuation des résidus

En Espagne, la situation des installations radioactives liées à l'extraction et au traitement de l'uranium peut se résumer de la façon suivante :

- L'usine Quercus, dans la province de Salamanque, comporte une mine à ciel ouvert, une installation de traitement, des tas de résidus provenant de la lixiviation statique et des bassins de décantation. Cette installation est actuellement en service.
- L'usine Lobo-G, dans la province de Badajoz, inclut une mine à ciel ouvert, une installation de traitement et des bassins de décantation. Elle a fermé en 1997.
- L'usine de traitement de l'uranium à Andujar (F.U.A.), dans la province de Jaén, possédait une installation de traitement et des bassins de résidus, mais elle a été fermée en 1994.

Il existe aussi plusieurs petites mines d'uranium abandonnées qui ont été exploitées dans les années 60 et 70. Elles figurent dans le Plan général de remise en état établi par l'administration. La remise en état de douze de ces sites a été confiée à l'*Empresa Nacional del Uranio, S.A. (ENUSA)* en septembre 1997. Les sites se trouvent en Andalousie et dans l'ouest de l'Estrémadure et les travaux, qui ont commencé en novembre 1997, devraient prendre deux ans.

Activités de démantèlement menées en 1996

Un programme de surveillance de dix ans, conçu avant l'annonce de la fermeture de l'usine de concentrés d'uranium d'Andujar (qui a été en service de novembre 1959 à juillet 1981), a été lancé après son réaménagement. Les travaux de démantèlement et de réaménagement, qui se sont achevés en juin 1994, ont été réalisés par l'Entreprise nationale chargée des déchets radioactifs (*Empresa Nacional de Residuos Radioactivos, S.A – ENRESA*).

Le démantèlement de la verse à stériles et de l'usine de traitement du centre de production d'ENUSA à La Haba (province de Badajoz), a été autorisé en novembre 1995. Les opérations de démantèlement et de réaménagement du site se sont poursuivies en 1996 et ont pris fin en 1997. Les matériaux récupérés ont été placés dans le bassin de décantation qui a été recouvert d'une couche de 3 à 8 m d'épaisseur de stériles riches en argile provenant de la mine.

La mine à ciel ouvert a été démantelée en 1995 et recouverte de végétation.

Dès que le démantèlement et la fermeture seront terminés à La Haba, un programme quinquennal de surveillance sera mis en place afin de vérifier que les critères de conception et de construction imposés par le CSN sont respectés.

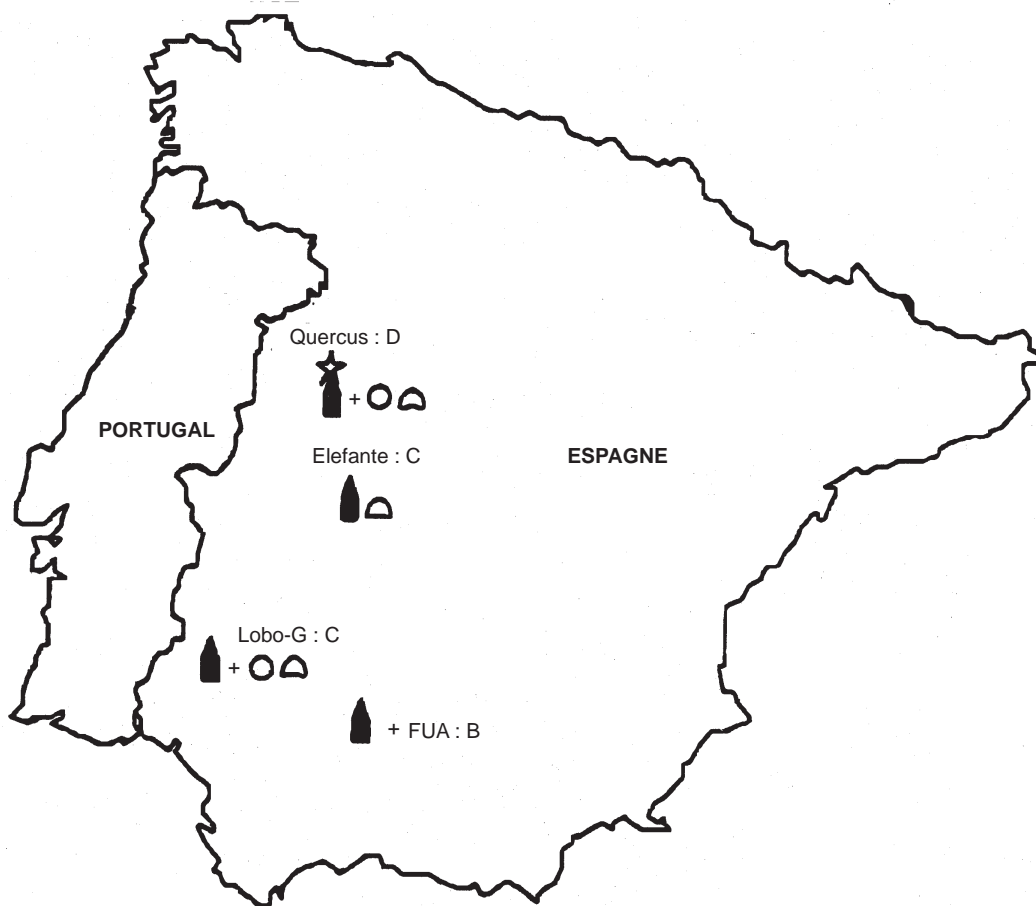
Au Centre minier de Saelices (province de Salamanque), un projet visant le démantèlement de l'ancienne usine de traitement d'Elefante et les accumulations de résidus provenant des anciennes activités de lixiviation en tas a été soumis au CSN à la fin de l'année 1996. On attend l'autorisation.



Le Conseil de la sûreté nucléaire et le Ministère de l'Industrie et de l'Énergie ont approuvé un plan de réaménagement des sites de 19 anciennes mines d'uranium exploitées par l'ex-Junta de Energía Nuclear (JEN) entre le début des années 50 et 1981. Elles ont été exploitées soit à titre expérimental, soit à des fins de production, et le minerai extrait a été traité à l'usine d'Andujar. Treize de ces 19 mines sont situées dans la communauté autonome de l'Estrémadure et six en Andalousie. En mars 1997, le gouvernement autonome de l'Estrémadure a approuvé le projet de démantèlement. Les travaux ont débuté en novembre 1997.

MESURES DE PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT APPLIQUÉES DANS LES CENTRES D'EXTRACTION EN ACTIVITÉ




L'Espagne n'exploite actuellement qu'une seule mine d'uranium, à Mina Fe, près de Ciudad Rodrigo (province de Salamanque).

Emplacement des zones minières en Espagne métropolitaine



-  Usine en service terminée
-  Installation de production fermée

- B : Production terminée, remise en état du site
- C : Production terminée, remise en état du site en cours
- D : En service, remise en état du site en cours

-  Mine à ciel ouvert
-  Lixiviation en tas
-  Stockage de résidus

La mine de Fe est exploitée à ciel ouvert par ENUSA. Le minerai est concassé et traité à proximité de la fosse. L'uranium en est extrait par lixiviation classique et par lixiviation en tas. Les mesures de protection de l'environnement incluent le contrôle des émissions atmosphériques et des effluents liquides après neutralisation, le dépôt des résidus dans un bassin de décantation et le réaménagement du sol pour lutter contre l'érosion.

Ces mesures sont mises en œuvre par ENUSA qui utilise à cette fin sa propre organisation et ses laboratoires.

Le suivi et la supervision de ces opérations de protection de l'environnement sont effectués par le CSN qui rend régulièrement compte de ses activités devant le Congrès et le Sénat espagnols.

• **Estonie** •

HISTORIQUE

L'histoire de la production d'uranium en Estonie est liée à l'usine métallurgique de Sillamäe, implantée dans le nord-est du pays. Cette usine a été construite en 1948 pour traiter des minerais uranifères. Elle a d'abord servi à récupérer l'uranium à partir de schistes alumineux extraits en Estonie jusqu'en 1963, avant de traiter des minerais d'uranium provenant d'Europe orientale. On estime qu'en 1977, l'installation avait traité 4 millions de tonnes de minerai d'uranium. Ultérieurement, du niobium, du tantale et des terres rares ont également été récupérés dans l'usine. Le dépôt de déchets contient 12 millions de tonnes de résidus minés et d'autres déchets, ainsi que des résidus miniers d'uranium estimés à 4 millions de tonnes, des cendres de schistes bitumeux et des résidus provenant du traitement de la loparite en vue de la récupération du niobium et du tantale.

CONSIDÉRATIONS RELATIVES À L'ENVIRONNEMENT

De 1992 à 1994, un projet en coopération internationale a aidé les spécialistes estoniens à réaliser une évaluation, du point de vue de l'environnement, du site de rétention des résidus du traitement de Sillamäe. Les résultats de cette étude servent à estimer les incidences sur l'environnement ainsi qu'à préparer la dépollution du site et la gestion à long terme du bassin de retenue des résidus d'uranium après fermeture. Les conclusions de l'étude sont résumées ci-après.

Entre 1948 et 1959 les résidus d'uranium ont été entassés près de l'usine, en surface, sur la terrasse littorale inférieure, à proximité immédiate du front de mer du golfe de Finlande. Le dépôt de déchets a été établi dans la même zone en 1959. Le dépôt a été reconstruit à plusieurs reprises depuis cette date. Au cours des travaux de reconstruction entrepris en 1969 et 1970, une partie des résidus solides d'uranium du dépôt a servi de matériau de remblayage pour construire un barrage plus élevé. À l'heure actuelle, le dépôt a la forme d'un bassin de retenue ovale d'une superficie de 330 000 m².

Les matières retenues sont entourées d'un barrage d'une hauteur de 25 m au-dessus du niveau de la mer, mais aucun matériau de couverture n'a été mis en place sur ce bassin.

Le dépôt non recouvert émet du radon et ses produits de filiation, et représente la principale source d'incidences radiologiques auxquelles la population de Sillamaä est exposée. Les doses individuelles annuelles correspondantes sont de l'ordre de 0,2 mSv. L'eau qui filtre à travers le dépôt ou qui s'échappe des mines fermées avoisinantes pour se déverser dans le golfe de Finlande a des incidences bien moins importantes. Ces incidences ne sont, en fait, observables qu'à proximité du dépôt. Ce déversement entraîne une dose engagée collective de 1 homme-sievert sur 50 ans, ainsi qu'une dose efficace engagée individuelle d'environ 1µSv. La principale cause de préoccupation en ce qui concerne l'environnement, identifiée par le projet en coopération internationale de 1992-1994, est la stabilité du dépôt. Le risque d'effondrement du barrage ou de glissement de terrain ne peut être écarté.

D'autres préoccupations relatives à l'environnement ont trait à la contamination présente dans l'ancien terminus ferroviaire et sur le lieu d'entreposage des minerais importés situé à l'extérieur de l'usine. Les débits de dose y sont plutôt élevés en de nombreux endroits. Étant donné que les fonds disponibles pour les travaux d'assainissement étaient limités, le personnel de l'usine n'a procédé qu'à un assainissement partiel de ces zones.

• États-Unis •

DISPOSITIONS LÉGISLATIVES ET RÉGLEMENTAIRES

Entre 1975 et 1978, le Ministère de l'Énergie (DOE) et l'Administration de la recherche et du développement dans le domaine de l'énergie (Energy Research and Development Administration – ERDA), qui ont succédé à la Commission de l'énergie atomique (Atomic Energy Commission – AEC), ont réalisé des études de sites de traitement de l'uranium. Ces études ont porté sur des sites de traitement de l'uranium considérés comme « hors service », puisqu'ils avaient cessé leurs activités après avoir produit des concentrés d'uranium pour l'AEC. Ces organes ont conclu que les résidus du traitement de l'uranium entreposés sur ces sites hors service représentaient un risque non négligeable pour la santé publique, et qu'il fallait mettre sur pied un programme en vue de stabiliser ou d'évacuer ces résidus dans des conditions appropriées et de prévenir ou de réduire au minimum la diffusion de radon dans l'environnement et d'autres risques connexes.

En novembre 1978, à la suite de ces études, le Congrès a promulgué la Loi sur le contrôle des rayonnements émis par les résidus du traitement de l'uranium [Public Law 95-804, the Uranium Mill Tailings Radiation Control Act (UMTRCA)]. La loi régie la décontamination et la stabilisation des résidus du traitement de l'uranium sur les sites de traitement qui ne sont plus en activité. L'UMTRCA charge l'Agence pour la protection de l'environnement (EPA) de superviser l'établissement des critères et des lignes directrices en matière d'environnement, mais la réglementation des installations nucléaires aux États-Unis (y compris les usines d'uranium) incombe toujours à la Commission de la réglementation nucléaire (Nuclear Regulatory Commission – NRC), ou aux « États signataires »

(Agreement States). Un « État signataire » est un État qui est ou a été partie à un accord d'interruption avec la NRC en vertu de l'article 274 de la Loi sur l'énergie atomique (42 U.S.C. 2021) et qui légifère en application d'un instrument juridique équivalent à l'article 62 ou 81 de la Loi sur l'énergie atomique. Cependant, l'UMTRCA demeure la référence pour le contrôle des sites de traitement de l'uranium.

Les critères de l'EPA applicables au titre de l'UMTRCA sont repris dans « Critères de protection de la santé et de l'environnement contre les incidences de l'uranium et des résidus du traitement de ce dernier » (40 CFR Part 192). La délivrance d'autorisations et la mise en œuvre des réglementations, supervisées par la NRC (ou l'État signataire), sont régies par l'« Autorisation intérieure des matériaux source » (10 CFR Part 40). L'UMTRCA exige que chaque autorisation comporte des dispositions relatives à la décontamination, au démantèlement et au réaménagement de l'installation autorisée. Le titulaire de l'autorisation doit aussi respecter des conditions supplémentaires, telles que les « Critères de protection de la santé et de l'environnement contre les incidences de l'uranium et des résidus du traitement de ce dernier » (40 CFR Part 192).

Toutefois, l'UMTRCA ne prévoit pas le remboursement des frais afférents aux opérations de réaménagement des sites en service (au moment de la promulgation de l'UMTRCA) de traitement de l'uranium abritant des tas de résidus mixtes, produits dans le cadre d'un contrat avec le gouvernement fédéral et pour des entités commerciales. Plus tard, deux rapports sur ce sujet ont été préparés pour le Congrès : le premier par le Ministère de l'Énergie en janvier 1979 et le deuxième par l'Office de comptabilité générale (General Accounting Office) en février 1979. Ces deux rapports concluaient qu'il incombait aux pouvoirs publics d'aider les titulaires d'une autorisation relative à ces sites.

Le titre X de la Loi de 1992 sur la politique énergétique (Public Law 102-486) définit les compétences et le cadre de l'assistance fédérale. Le Ministère de l'Énergie est désormais tenu de rembourser aux titulaires d'autorisations relatives à des sites de traitement de l'uranium et du thorium en service, les frais afférents aux mesures de réaménagement imputables aux sous-produits (résidus de traitement) générés en liaison avec la vente au Gouvernement des États-Unis de concentrés d'uranium ou de thorium. Le Ministère de l'Énergie a édicté un règlement final le 23 mai 1994, sous l'intitulé « Remboursement des frais afférents aux mesures de réaménagement des sites de traitement de l'uranium et du thorium en service » (10 CFR Part 765). Le titre X fixe un plafond pour le remboursement individuel et total. Les titulaires d'autorisations relatives à l'uranium peuvent toucher jusqu'à 5,5 dollars des États-Unis par tonne de résidus secs résultant d'activités liées à des contrats fédéraux. Les remboursements sont plafonnés à 270 millions de dollars des États-Unis pour les 13 titulaires d'une autorisation relative à la production d'uranium et à 40 millions de dollars des États-Unis pour le titulaire d'une autorisation relative à la production de thorium. Les activités qui ouvrent droit à un remboursement incluent entre autres la restauration de la qualité des eaux souterraines, le traitement du sol contaminé, l'évacuation des déchets du traitement, l'enlèvement, la réduction de la pollution de l'air, le démantèlement de l'usine et du matériel, la surveillance du site, les dépenses administratives et d'autres activités requises par l'UMTRCA.

Réaménagement des mines d'uranium

La NRC juge que sa compétence en matière d'assainissement de l'environnement ne s'étend pas aux mines d'uranium. Chaque État se charge de régir les mines d'uranium en y appliquant la même réglementation qu'aux autres mines. La plupart des États possèdent des lois visant les mines abandonnées et réglementant les travaux de réaménagement. Le réaménagement des mines d'uranium peut aussi être couvert par des règlements et des réglementations administrés par l'Office du

réaménagement et de la réglementation des mines à ciel ouvert, qui relève du Ministère de l'Intérieur, ou par le Bureau de l'aménagement du territoire, conformément à la « Gestion du territoire » (43 CFR Part 3809), réglée par la Loi fédérale de 1976 sur la gestion des sols et la politique foncière (Public Law 94-579).

Situation des usines et des installations de lixiviation in situ

On dénombre au total 26 usines qui produisent de l'uranium, soit à des fins strictement commerciales, soit également pour le gouvernement (mixtes). Six d'entre elles sont en réserve et 20 sont à divers stades de démantèlement. Une des six usines d'uranium en réserve a fonctionné au ralenti en 1995, en produisant des concentrés à partir de stocks minerais extraits avant 1993. Le Titre X fixe la proportion des dépenses de réaménagement remboursables par le gouvernement pour les treize sites mixtes de traitement de l'uranium sur les vingt existant et le site de production de thorium.

Il existe en outre 24 sites de traitement de l'uranium hors service, répartis dans dix États, qui ont été exploités pour le gouvernement avant 1970, ainsi que des installations connexes situées à proximité, dont deux usines établies sur des territoires appartenant aux Indiens. Les dépenses de réaménagement de ces sites sont supportées en majorité par le gouvernement (10% par les États concernés), conformément au Programme de réaménagement des résidus du traitement de l'uranium (UMTRAP). Le coût de la restauration de l'environnement dans certains de ces sites plus anciens est généralement plus élevé, parce que le réaménagement d'un tas de résidus ou d'une mine à ciel ouvert abandonnés exige fréquemment que l'on exhume et transfère ailleurs tous les matériaux évacués antérieurement. En outre, on manque d'informations détaillées sur le volume et les types de déchets qui ont pu être produits et évacués, si bien qu'il est difficile d'évaluer l'ampleur de la tâche et de faire des prévisions techniques fiables.

À la fin de l'année 1995, sept installations de production d'uranium non classiques, comprenant cinq installations de lixiviation in situ (LIS) et deux installations où l'uranium était obtenu comme sous-produit du phosphate (SP), étaient en activité. Huit autres installations non classiques (six LIS et deux SP) étaient à l'arrêt à la fin de l'année 1995. Les deux installations SP ont été fermées pour une durée indéterminée et une installation de LIS a été remise en activité en 1996.

• Fédération de Russie •

Deux centres de production de l'uranium ont été exploités en Fédération de Russie : le Complexe minier et chimique de Priargoun et l'entreprise d'État de Lermontov « Almaz ».

Complexe minier et chimique de Priargoun

Contexte industriel

Le Complexe minier et chimique de Priargoun se trouve dans la région de Tchita à une distance de 10 à 20 km de la ville de Krasnokamensk. Krasnokamensk compte quelque 60 000 habitants. Il

exploite le district uranifère de Streltsovsk qui regroupe 19 gisements d'uranium d'une teneur moyenne en uranium d'environ 0,2%, sur une superficie 150 km². L'extraction y a débuté en 1974 dans deux mines à ciel ouvert (toutes deux épuisées) et six mines souterraines (dont trois sont actives et trois ont été mises en réserve). Le minerai est traité dans une usine hydrométallurgique où on pratique la lixiviation à l'acide sulfurique avant de récupérer l'uranium par échange d'ions. Depuis les années 90 les minerais à faible teneur sont traités par lixiviation en tas. Le Complexe minier et chimique de Priargoun emploie environ 10 000 personnes. La production annuelle d'uranium s'élève à quelque 2 500 tonnes. Pour des raisons économiques, la production a été réduite de moitié ou presque par rapport à ses niveaux antérieurs aux cours des quatre dernières années.

Émissions dans l'air et l'eau

L'hydrosphère et l'atmosphère sont surveillées par le laboratoire de l'entreprise de Priargoun. Les principales sources de contamination de l'environnement sont les bassins de décantation de l'usine hydrométallurgique et les installations de traitement à l'acide sulfurique. Les résidus forment un volume total de 300 millions de mètres cubes et dégagent une radioactivité de 9 000 Ci.

Les caractéristiques des déchets sont illustrées sur le tableau ci-dessous :

Type de déchet	ha ²	Quantité 10 ⁹ tonnes	% d'U	Radioactivité 10 ⁹ Ci/kg	Émanation de radon 10 ⁻³ Ci/m ² /an
Résidus du traitement	600	40	0,009	30-750	0,93-23,2
Déchets des installations de traitement à l'acide	320	5,6	Traces	30-250	–
Déchets du tri radiométrique*	48	8	0,012	27-350	0,84-11,0
Déblais de minerais à faible teneur*	270	28	0,009	27-350	0,84-11,0
Verses à stériles	80	7	0,002	27-80	0,84-2,50
Morts-terrains de la mine à ciel ouvert	275	190	0,001	27-80	0,84-2,50

* Déchets se prêtant à la lixiviation en tas.

Les teneurs en radionucléides (Ci/l) dans l'eau souterraine autour du bassin de retenue des résidus et dans les eaux d'exhaure varient fortement.

Type d'eau	U (mg/l)	Ra-226 x 10 ⁻¹	Th-230 x 10 ⁻¹	Po-210 x 10 ⁻¹¹	Pb-210 x 10 ⁻¹¹
Eau souterraine	0-8,7 x 10 ⁻⁴	0-4,3	0,12-5,5	0,03-1,9	0,16-2,4
Eaux d'exhaure *	0,17-21	1,0-39,0	3,0-28,0	1,3-69,0	1,7-58,0

* Moyenne et maximum.

Gestion des déchets

Deux problèmes majeurs d'environnement se posent à l'heure actuelle : l'accumulation croissante de déchets radioactifs liquides et solides, et la contamination progressive du réseau hydrographique naturel superficiel et souterrain par des déchets radioactifs, qui menace les réserves d'eau potable.

En 1996, a été construit le premier étage d'une station d'épuration des eaux d'exhaure recourant à la sorption par des zéolithes.

Le barrage du bassin de décantation risque aussi de céder, ce qui inonderait la vallée de l'Urulungui et entraînerait une infiltration de déchets dans l'Urulungui et l'Argun.

Le projet de reconstruction des bassins de décantation des résidus du traitement et des déchets de la lixiviation par voie acide devrait s'achever en 1998. Il comporte :

- La consolidation des barrages principaux et l'édification d'un barrage protecteur autour des forages d'eau potable.
- L'installation d'une deuxième source d'eau potable d'une capacité de 1 000 m³/heure dans la localité de Dosatui.
- La construction d'un réseau de drainage composé de forages destinés à intercepter les infiltrations sous le bassin de décantation.

Démantèlement et réaménagement

La procédure de fermeture des mines et usines d'uranium est actuellement réglementée par l'État. Les gisements exploités à ciel ouvert de Tulukuevsky et de Krasny Kamen ont été épuisés les premiers dans la région de Streltsovsk. Il a été proposé de mettre sur pied un programme international en vue de leur remise en état.

Entreprise d'État de Lermontov « Almaz »

Contexte industriel

Le site « Almaz » de l'entreprise d'État de Lermontov se situe à 1,5 km de la ville de Lermontov, dans la région de Stavropol appartenant à la Fédération de Russie. Cette région contient deux gisements d'uranium épuisés : Beshtau et Byk, qui ont fourni au total quelque 5 300 tonnes d'uranium (à partir de minerais d'une teneur moyenne de 0,1%). L'exploitation des deux mines souterraines a débuté en 1950. La mine de Beshtau s'est arrêtée en 1975 et celle de Byk en 1990. De 1965 à 1989 le minerai a été traité à l'usine de Lermontov par lixiviation à l'acide sulfurique et lixiviation en tas. La lixiviation in situ a également été pratiquée sur le site. En outre, des années 80 jusqu'en 1991, les minerais provenant du gisement d'uranium de Vatutinskoye en Ukraine et du gisement de Melovoye au Kazakstan ont aussi été traités à l'usine de Lermontov. Depuis 1991, après l'interruption de la production d'uranium, on traite du concentré d'apatite dans l'usine. En 1996, une étude radiométrique a été conduite sur 3 200 hectares.

Émissions dans l'air et l'eau

Le laboratoire de l'entreprise surveille les eaux superficielles et souterraines et les eaux d'exhaure, les effluents liquides du traitement ainsi que l'atmosphère. La contamination radioactive du site s'étend sur plus de 170 hectares, qui se répartissent entre le bassin de décantation (118 hectares) et le périmètre qui inclut l'usine et la verse à stériles résultant de l'extraction (54 hectares). Le tableau suivant fournit des informations sur les stériles.

Source des déchets	Superficie de l'aire de stockage des déchets, (hectares)	Quantité de déchets (millions de tonnes)	Teneur (% U)	Radioactivité (10^9 Curie/kg)	Émanation de radon (10^3 Curie/m ² /an)
Stériles de l'extraction	54	8,4	0,002	25-80	0,90-2,50

La source principale de contamination de l'environnement est l'émanation de ²²²Rn à partir du bassin de décantation. La contamination de l'eau souterraine s'est produite lors du drainage des liquides du bassin de décantation, essentiellement pendant les premières années de l'exploitation de l'usine. Les teneurs maximales et moyennes en uranium dans le premier aquifère souterrain, situé en dessous du bassin de décantation, ont été mesurées à l'aide de dix forages hydrogéologiques exécutés autour du périmètre du bassin de décantation. Les résultats du programme de surveillance sont récapitulés dans le tableau suivant.

Concentration d'U (10^6 g/l)

	1983	1984	1986	1987	1988	1989	1990
Moyenne	40	54	28	94	75	35	39
Maximale	67	76	50	170	90	80	40

L'émission de radionucléides dans l'atmosphère et les eaux superficielles en Ci/an, après l'arrêt de l'extraction et du traitement de l'uranium est résumée ci-après :

	Année	Déchets, m ³ x 1 000	Totalité des nucléides de l'U	Nucléides du Th	²²⁶ Ra	²¹⁰ Po	Totalité des nucléides du Ra	Nucléides à vie longue
Cours d'eau Podkumok	1990	5 328	0.056	0.081	0.021	0.006		
	1991	1 012	0.115	0.0064	0.005	0.004		
Atmosphère	1990					0.0031		0.0033
	1991					0.00015	0.00003	

Gestion des déchets et réaménagement

Les activités de réaménagement sont financées à partir du budget de l'État et exécutées conformément à la réglementation nationale. Le réaménagement des verses à stériles de la Mine 1 (gisement de Beshtau), couvrant 36 hectares, est presque achevé. Le réaménagement des verses à stériles de la Mine 2 (gisement de Byk), couvrant 18 hectares est en cours, et pourrait être terminé en 1999.

Le projet de réaménagement du complexe de traitement (bâtiments et terrains) est en cours d'élaboration. Le réaménagement et le démantèlement du bassin de décantation (118 hectares) ont commencé en 1996 et devraient se poursuivre jusqu'en 2005.

• Finlande •

MINES D'URANIUM ET SITES CONNEXES

La situation radiologique des anciennes mines de Lakeakallio et de Paukkajanvaara est surveillée par le Centre finlandais des rayonnements et de la sûreté nucléaire depuis 1974. Les fosses et les déblais de déchets ont été recouverts de sol vers 1993. Les autres sites sont très petits et ne requièrent pas de mesures spéciales, à l'exception éventuellement de Nuottijärvi.

Une minéralisation d'espèces du type des phosphorites uranifères est liée aux minerais de sulfure de Vihanti, et certains déblais de déchets pourraient se trouver sur le site de l'ancienne mine. Le concentré de lanthanides de Korsnäs, entreposé sur le site de l'ancienne mine, sera bientôt recouvert de sol. Des filons uranifères pourraient encore être exposés dans la zone de prospection de la mine de sulfure de Pahtavuoma. Il existe aussi des déchets miniers à faible teneur en uranium, provenant des mines de Sokli, Talvivaara et Juomasuo. L'uranium présent dans les régolites de Sokli est contenu dans le pyrochlore résiduel et dans l'apatite et la gothite secondaires.

Mines d'uranium et puits d'essai

Mine	Exploitation	Production de minerai (tonnes)	Production d'uranium (tonnes)	Remarques
Lakeakallio	1957-1959	557	1	Usine pilote
Paukkajanvaara	1958-1961	40 325	30	Extraction
Hermann	1959	0	0	Puits d'essai
Riutta	1959	0	0	Puits d'essai
Luhti	1960	0	0	Puits d'essai
Nuottijärvi	1965	867	0	Usine pilote

Uranium sous-produit

Mine	Exploitation	Remarques
Vihanti	1952-1992	Extraction de 27 Mt de minerai de sulfure dont une partie renfermait de l'U
Korsnäs	1967-1971	36 000 t de concentré de lanthanides
Pahtavuoma	1974-1976	Affleurements de minerai d'U exposés peut-être encore ouverts
Sokli	1978-1980	Extraction de 56 720 t de minerai d'apatite contenant de l'U
Talvivaara	1981-1982	Extraction de 37 000 t de minerai de Zn-Cu contenant de l'U
Juomasuo	1992	Extraction de 17 635 t de minerai d'or contenant de l'U

Autres sites susceptibles de renfermer de l'uranium

- Des résidus de gypse accumulés en tas près des usines d'engrais qui traitaient le phosphate naturel contiennent une certaine quantité d'uranium ; par exemple à Oulu, Uusikaupunki, et en partie à Siilinjärvi.
- Les cendres produites par les centrales électriques au charbon ou à la tourbe pourraient présenter des teneurs élevées en uranium.

Législation et réglementations

En Finlande, l'extraction est régie par la Loi minière de 1965 ou par la Loi de 1966 sur les activités extractives terrestres. La Loi de 1987 sur l'énergie nucléaire statue expressément sur l'uranium. Des articles de ces instruments sont consacrés à l'ouverture, à l'exploitation et à la fermeture des mines d'uranium, ainsi qu'à l'évacuation des déchets nucléaires et du combustible irradié. La Loi de 1992 sur la procédure de délivrance des permis d'environnement introduit de nouvelles considérations.

Recherche

Un programme de recherche international sur la modélisation du transport des radionucléides a été lancé au voisinage d'un gisement d'uranium à Palmottu, dans le sud-ouest de la Finlande. Le gisement se trouve dans une ancienne zone de prospection. Sur le site, les trous de forage toujours ouverts offrent des conditions propices à la réalisation d'études hydrogéologiques et géochimiques. Le programme vise avant tout à étudier les effets sur l'environnement d'un gisement d'uranium à l'état naturel, c'est à dire non exploité.

• France •

RÉAMÉNAGEMENT DES SITES MINIERS EN FRANCE

Cadre juridique

Les dispositions réglementaires et législatives françaises stipulent que les gisements miniers découverts dans le sol n'appartiennent pas au propriétaire du terrain, mais à l'État français. Le gouvernement peut autoriser les sociétés minières qui en font la demande à prospecter et extraire des corps minéralisés.

Le régime juridique qui s'applique à la prospection et à l'exploitation de gîtes de substances minérales ou fossiles considérés comme mines est défini dans le *Code minier*, établi par une loi du 26 mai 1955 qui intègre tous les textes législatifs sur les mines. Amendée plusieurs fois depuis 1955, cette loi a été complétée par des règlements sur les phases d'ouverture, d'exploitation et de fermeture des mines et par d'autres règlements tels que le « Règlement Général des Industries Extractives (RGIE) », qui définit les conditions sanitaires et les règles de sécurité à observer par les sociétés minières.

Dans ce contexte, le *Code minier* établit la procédure à suivre à la fin de la prospection ou de l'exploitation d'une concession et les obligations de remise en état qui incombent aux prospecteurs ou aux exploitants lorsque cessent les activités ou à la fermeture des mines. Le décret du 9 mai 1995 sur l'ouverture et la réglementation des mines constitue la dernière version législative du *Code minier*, mis à jour le 15 juillet 1994.

Cette loi du 15 juillet 1994 simplifie la procédure régissant la cessation des activités minières et la rend plus efficace en arrêtant une procédure unique pour la fermeture des installations minières et la fin de l'exploitation, applicable dans le cas d'une concession minière en vigueur ou parvenue à expiration.

Lors de la fin de chaque tranche de travaux et, en dernier ressort, lors de la fin de l'exploitation et de l'arrêt des travaux, l'explorateur ou l'exploitant d'une concession doit déclarer l'arrêt de tous les travaux ou de toutes les installations à l'autorité administrative compétente en matière de surveillance et de supervision des mines. Cette déclaration doit être envoyée au *Préfet*¹ au moins 6 mois avant l'arrêt définitif des travaux ou des installations.

Dans sa déclaration relative à l'arrêt des travaux, l'explorateur ou l'exploitant fait connaître « les mesures qu'il envisage de mettre en œuvre pour préserver les intérêts mentionnés à l'article 79 (du *Code minier*), pour faire cesser de façon générale les séquelles, désordres et nuisances de toute nature générés par ses activités et pour ménager, le cas échéant, les possibilités de reprise de l'exploitation ».

(1) Le Préfet représente le gouvernement français au niveau d'un département. Plusieurs services administratifs l'assistent dans sa tâche, notamment en ce qui concerne la surveillance et la supervision. S'agissant d'activités industrielles, le service compétent est la « Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement (DRIRE) ».

Les mesures proposées par la société minière doivent permettre le réaménagement du site minier et respecter les contraintes et les obligations afférentes à la protection de l'environnement dans son ensemble, à la protection des ressources en eau, aux intérêts culturels de la région, à la conservation des voies de communication, aux intérêts agricoles, à la solidité des édifices publics et privés, à la sécurité et la santé du personnel, ainsi qu'à la sécurité et la salubrité publiques (ces intérêts sont mentionnés à l'article 79 du *Code minier*).

Conformément aux dispositions du *Code minier*, l'exploitant doit prendre des mesures correctrices pour préserver les ressources en eau. À cette fin, il dresse un bilan des effets des travaux sur la qualité de l'eau en évaluant les conséquences de l'arrêt des travaux ou de l'exploitation sur l'eau et les usages de l'eau ; et en indiquant les mesures compensatoires envisagées pour, par exemple, rééquilibrer la chute du débit de certains cours d'eau résultant de la réduction du drainage des mines.

En outre, l'exploitant est tenu de préciser si certaines parties du site minier seront réaffectées à d'autres activités, notamment industrielles.

La déclaration relative à l'arrêt des travaux est examinée par l'administration selon une procédure analogue aux enquêtes publiques réalisées dans le cadre des demandes de concessions. Les autorités administratives locales, ainsi que conseils municipaux des communes intéressées doivent notamment être consultés. Cette procédure est conduite par la Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement (DRIRE) et le service qui aide le préfet à mettre en œuvre le régime des mines.

Lorsque ces conditions sont remplies, le préfet peut, dans un délai de 6 mois à compter de la date de réception de la déclaration, et s'il le juge indiqué, ordonner par décret toute mesure supplémentaire, destinée à assurer le réaménagement complet du site par l'exploitant. Si les mesures proposées par l'exploitant lui semblent suffisantes, le préfet marque son accord. Lorsque l'exploitant se voit signifier cet accord, il peut procéder au réaménagement du site. Si l'exploitant ne reçoit aucune réponse dans le délai imparti, il peut procéder à la remise en état du site, suivant les modalités exposées dans sa déclaration et l'exploitation minière est alors considérée comme terminée.

Au terme des activités de réaménagement, le préfet commande un rapport de vérification pour s'assurer que les travaux réalisés sont conformes aux mesures prévues par l'exploitant dans sa déclaration relative à l'arrêt des travaux, ainsi qu'aux mesures complémentaires ordonnées par son décret. Le rapport de vérification offre au DRIRE un élément objectif pour apprécier les opérations de réaménagement effectuées sur le site minier. Il permet au préfet de donner acte de l'arrêt définitif des travaux de réaménagement et de la fin de l'utilisation du matériel d'exploitation. Cette procédure officielle met fin à l'application du régime des mines et à la supervision administrative du site. Toutefois, le préfet peut intervenir jusqu'à l'expiration de la validité du titre minier, dans le cas d'un événement ou d'un accident imputable aux activités minières antérieures. Selon cette procédure, l'exploitant n'est plus soumis au régime des mines, mais demeure juridiquement responsable en cas de dommages occasionnés par les anciennes installations.

Les sites miniers au sens strict sont régis exclusivement par le *Code minier*, mais les installations et la gestion des déchets du traitement tombent sous le coup de la loi du 19 juillet 1976 sur les « Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE) » et de son arrêté modifié, du 21 septembre 1977. Ces textes contiennent quelques obligations très strictes concernant les activités de fermeture, le démantèlement des usines et le réaménagement des sites. Dans ce contexte,

l'opérateur doit veiller à ce que la totalité des intérêts protégés par la loi de 1976, et notamment l'environnement dans tous ses aspects, soient préservés et que tous les dommages ayant conduit précédemment au classement de l'usine aient été réparés. La loi autorise le préfet à prescrire certaines nouvelles mesures de sécurité à l'ancien exploitant, même si le site a déjà été démantelé.

Moyens de réaménagement

Dans le cas de l'uranium, un seul exploitant est concerné en France, directement ou à travers ses filiales. Créée au sein de la Cogéma en 1993, la Direction de l'environnement, rebaptisée Direction de la qualité, de la sûreté et de l'environnement, est chargée de faire en sorte que l'environnement soit pris en considération dans chaque activité menée par le groupe.

La Branche uranium de la Cogéma possède un Service d'environnement qui coordonne la remise en état des sites miniers en respectant non seulement strictement la réglementation française, mais aussi les règles d'environnement définies par la Cogéma elle-même. Les Centres miniers, qui sont les interlocuteurs directs de la DRIRE, assument la responsabilité juridique des travaux réalisés sur leur champ de recherche. Ils disposent des effectifs, du matériel et de la compétence requis pour réaménager les sites miniers. En 1994, la Cogéma a consacré presque 129 millions de francs français au réaménagement des sites miniers.

La réaménagement des sites dépend dans une large mesure de l'activité qui y était menée (mine à ciel ouvert ou souterraine, usine de traitement, présence de décharges de déchets et nature de ces déchets, etc.) et des paramètres locaux (géographiques, géologiques, hydrologiques et humains). Il est donc relativement difficile de définir une procédure technique générale applicable à chaque projet. C'est l'étude au cas par cas de chaque site qui débouchera sur un projet de réaménagement pertinent et conforme aux réglementations.

Les principaux types de sites à réaménager sont les mines souterraines, les mines à ciel ouvert, les décharges lixiviées en tas, les installations de traitement de l'uranium et bassins de décantation des résidus connexes, et les zones annexes (bureaux, dépôts de stockage, espaces occupés par les terrils et verses à stériles).

Le réaménagement des zones annexes ne présente aucune difficulté. Le matériel et les bâtiments sont démantelés, les sols assainis voire décontaminés, et les terrains peuvent généralement retrouver leur ancienne affectation ou être dévolus à de nouvelles activités.

Avec l'accord d'une tierce partie (population locale, par exemple) les mines à ciel ouvert peuvent être reconverties en réservoirs d'eau à usage agricole, en centres d'entraînement à la plongée, en éclosiers (pisciculture) ou en réserves naturelles, selon ce qui favorise le mieux le développement local ou régional de l'endroit.

Avant d'effectuer cette reconversion, il y a lieu d'accomplir les opérations requises pour assurer la sécurité, d'atténuer les dénivellations, et de remplir partiellement ou totalement les fosses de mine avec des stériles afin de restaurer le paysage. Après que la surface ait été recouverte d'une couche de sol, elle peut être engazonnée et se prêter ainsi à des activités agricoles ou industrielles.

Les roches stériles extraites au cours de l'exploitation de la mine servent aux travaux visant à garantir la sécurité et au remblayage des fosses. Les verses restantes sont aplanies pour se fondre harmonieusement dans le paysage, puis recouverts de végétation.

Les têtes de puits et les accès aux galeries principales des mines souterraines sont soigneusement remplis et obturés après que les installations souterraines aient été placées dans des conditions telles qu'elles ne présentent plus aucun danger. À titre d'exemple, les cavités proches de la surface sont stabilisées s'il y a lieu. Lorsque la mine est inondée, les eaux résurgentes, le cas échéant, sont canalisées et traitées (pH, métaux lourds, uranium, radium), si nécessaire, de façon que leur composition en autorise le rejet dans l'environnement.

Les travaux de réaménagement de plus grande envergure sont certainement ceux qui concernent les aires d'évacuation des résidus. L'exploitant est tenu de :

- les protéger de l'exposition aux conditions extérieures ;
- limiter par divers moyens la diffusion du rayonnement du radon dans l'atmosphère ;
- assurer la stabilité mécanique définitive des résidus ;
- limiter la lixiviation des résidus par l'eau souterraine et éviter la fuite des produits ;
- prévenir une utilisation à mauvais escient des matériaux ;
- configurer l'aire d'évacuation des résidus en harmonie avec le paysage.

Sites miniers assortis d'une aire d'évacuation des déchets en France*

Nom	Types d'activité	Fin de l'activité	Stade de la remise en état
St. Hippolyte	Mine souterraine, lixiviation en tas	1969	Évacuation de minerai à faible teneur achevée en 1994 – Maîtrise des incidences du rayonnement en cours
Lachaux Rophin	mine souterraine, usine de traitement, bassin de retenue des résidus	1955	Supervision régulière achevée en 1985
Gueugnon	usine de traitement, bassin de retenue des résidus	1980	Supervision régulière terminée
Les Bois Noirs St Priest	mines souterraines, mine à ciel ouvert, usine de traitement, bassin de retenue des résidus	1980	Supervision régulière terminée
St Pierre du Cantal	mine à ciel ouvert, lixiviation en tas, usine de traitement	1985	Supervision régulière en cours
Le Cellier	mine à ciel ouvert, mines souterraines, lixiviation en tas, usine de traitement, bassin de retenue des résidus	1990	Supervision régulière achevée en 1991
Lodève	mine à ciel ouvert, mine souterraine, lixiviation en tas, usine de traitement, bassin de retenue des résidus	1997	Supervision régulière sur plusieurs sites et aire d'évacuation en cours
Bertholène	mine à ciel ouvert, mine souterraine, lixiviation en taille	1994	Supervision régulière en cours

Nom	Types d'activité	Fin de l'activité	Stade de la remise en état
Le Bernardan Jouac	mine à ciel ouvert, mine souterraine, lixiviation en tas, usine de traitement, bassin de retenue des résidus	<i>mine en activité</i>	Supervision régulière en cours
La Crouzille - Bessines	mine à ciel ouvert, mines souterraines, lixiviation en tas, usine de traitement, bassin de retenue des résidus	Usine de traitement 1993 Mine 1995	Supervision régulière en cours sur 4 aires d'évacuation différentes
La Ribière	mine à ciel ouvert, usine de traitement, lixiviation en tas	1985	Supervision régulière achevée en 1992
La Commanderie	mine à ciel ouvert, lixiviation en tas	1976	Supervision régulière terminée
L'Ecarpière	mine souterraine, lixiviation en tas, bassin de retenue des résidus du traitement	Mine 1990 Usine de traitement 1991	Supervision régulière en cours

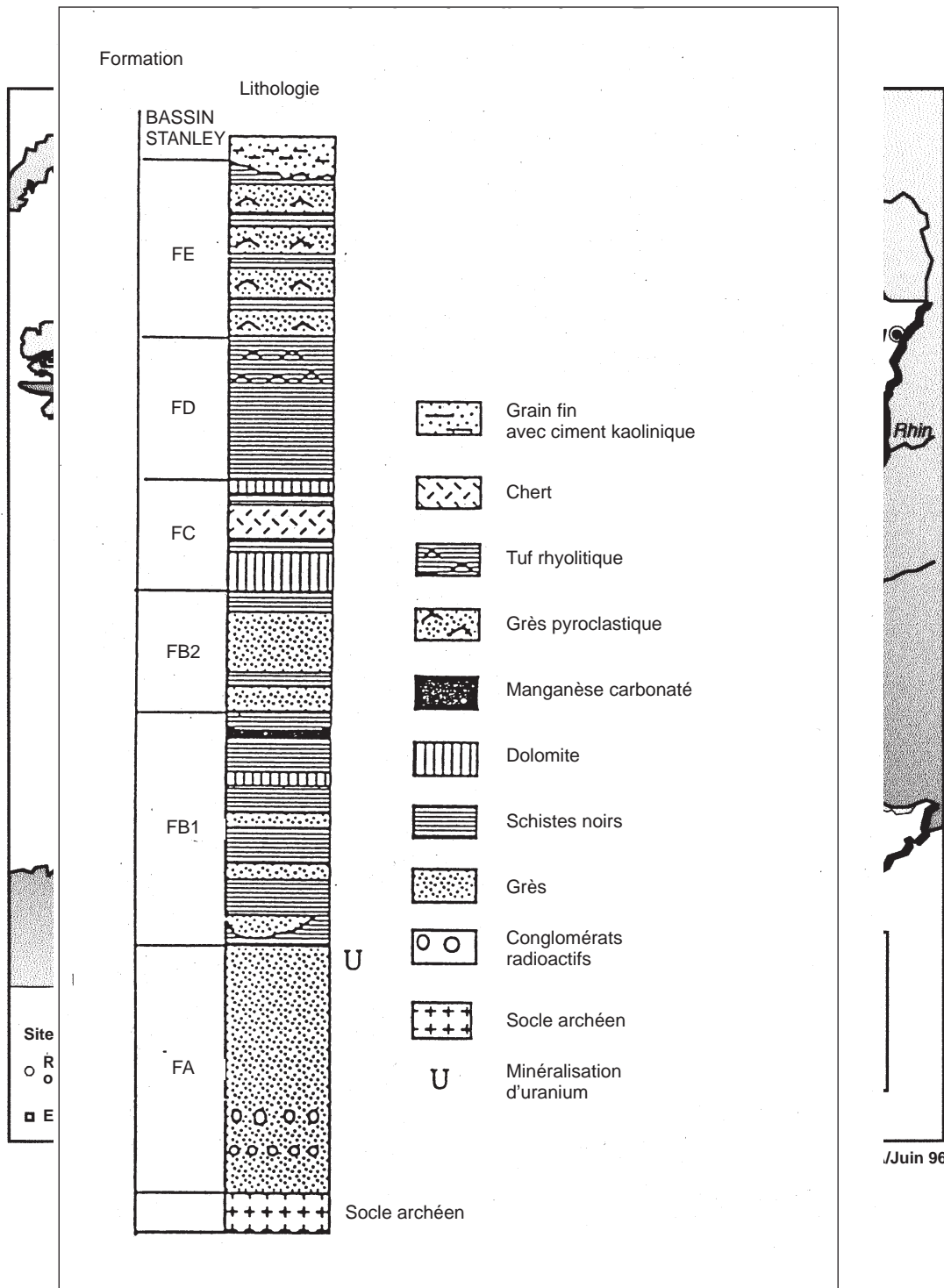
* Source: « Inventaire national des déchets radioactifs – ANDRA 1996 ».

Certaines études préliminaires très poussées sont conduites sur ces sites, avec le concours de nombreux experts extérieurs à l'entreprise en géologie, géochimie, minéralogie, radiologie, hydrologie, ingénierie du sol et aménagement des sites.

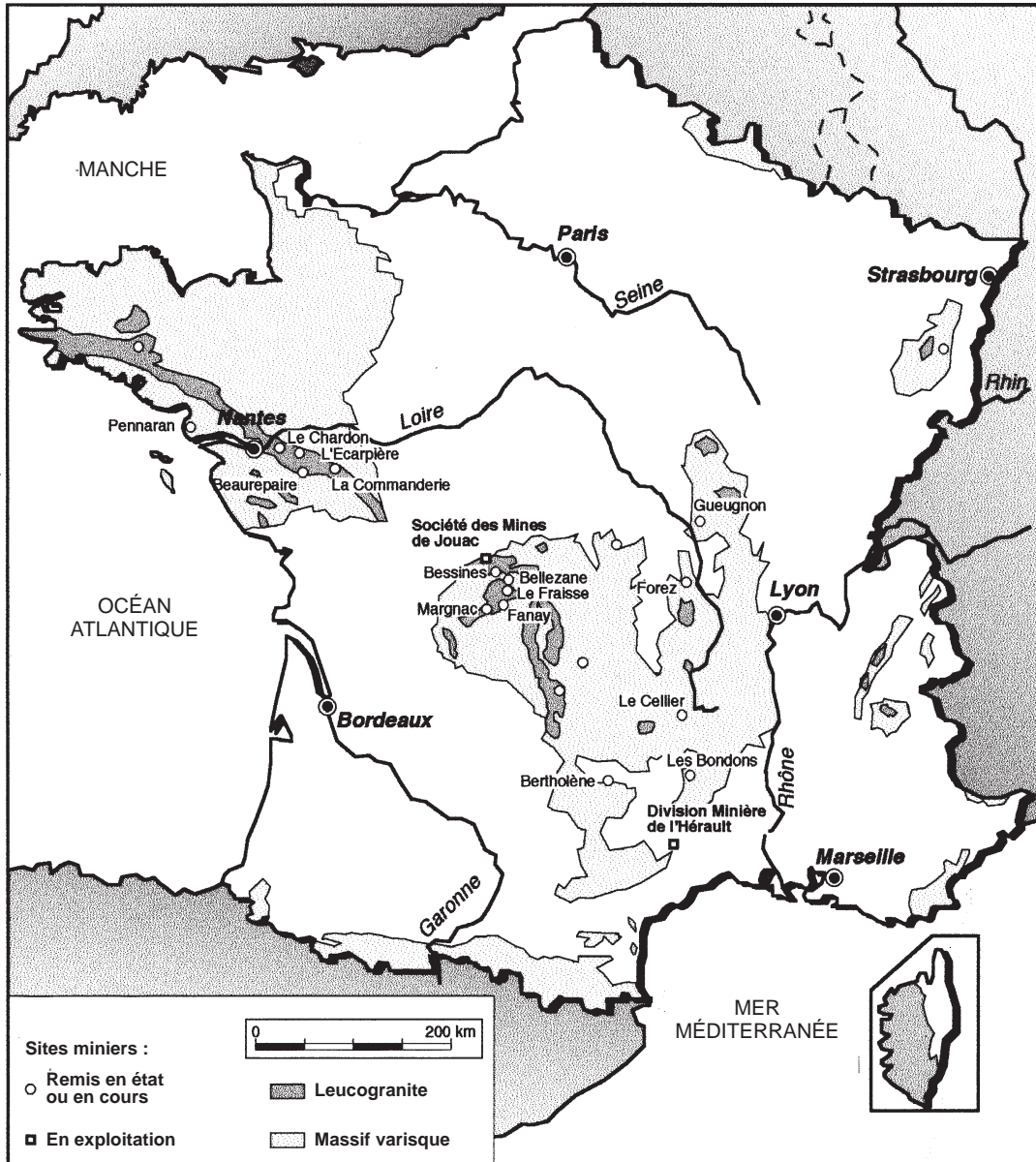
La remise en état des aires d'évacuation des résidus vise en premier lieu à assurer la stabilité à long terme des résidus, à empêcher l'accès des personnes et des animaux à ces résidus et à limiter les intrusions qui pourraient se produire ultérieurement sur le site. Elle est également destinée à réduire au minimum les surfaces concernées, à abaisser l'impact subsistant sur le milieu environnant et à répondre aux souhaits de la population locale. Enfin, elle doit, si possible, rendre la surface propre à certaines activités humaines.

En vue d'assurer la stabilité à long terme des barrages des bassins de retenue des résidus, on rectifie leur tracé et consolide leur édifice selon les besoins, avant de les recouvrir de végétation. Après un séchage naturel et progressif, les résidus fins qui s'accumulent derrière les barrages sont recouverts de déchets plus grossiers issus de la lixiviation en tas, puis de stériles qui leur confèrent une bonne protection mécanique, afin de limiter les incidences radiologiques et de permettre aux eaux de surface de s'écouler librement. L'engazonnement du site contribue à une bonne intégration de l'aire d'évacuation et évite l'altération. La supervision régulière du site et la mesure des paramètres contrôlés, pratiquées durant l'exploitation, se poursuivent pendant la phase de remise en état et sur plusieurs années au terme de celle-ci. Ces mesures s'appliquent pour la plupart à l'air et l'eau, mais concernent également la chaîne alimentaire locale (lait, légumes, poissons, gibier, etc.).

Figure 2. Stratigraphie de la série du Francevillien dans le bassin de Franceville



Restauration des mines d'uranium en France



Source : COGEMA/Juin 96

• Gabon •

URANIUM ET SURVEILLANCE RADIOLOGIQUE DE L'ENVIRONNEMENT DU SITE MINIER DE LA COMUF À MOUNANA

Présentation du site minier et industriel de COMUF

Situé à cheval sur l'équateur, sur la côte atlantique de l'Afrique, le Gabon couvre une superficie de 267 000 km² dont la forêt occupe près des 3/4 du territoire. Le Gabon est sous-peuplé (1.2 million d'habitants, soit environ 4.6 habitants/km²). Le relief s'organise autour de 3 grands ensembles structuraux indissociables de la géologie.

Cadre géologique

Situés au sud-est du Gabon, dans la province du Haut Ogooué, les gisements d'uranium appartiennent à la partie centrale du bassin de Franceville S.S. (voir figure 1).

La dépression centrale sur laquelle repose la ville de Mounana et le site industriel de COMUF est constituée du socle granito-gneissique altéré.

La bordure occidentale de la boutonnière de Mounana est constituée de grès quartzites anté cambrien du FA, reposant directement sur le socle. Les gisements d'uranium Oklo-Okélobondo, actuellement exploités, se situent au sommet des grès quartzitiques FA au voisinage du contact avec les pelites FB1 (voir schéma stratigraphique de la figure 2). Ils se situent sur la marge sud-ouest du bassin sédimentaire précambrien du Francevillien constitué par une série sédimentaire détritique et volcano-sédimentaire non métamorphique. Cette série, composée de 5 formations indexées de FA à la base à FE au sommet repose en discordance sur un socle archéen.

La formation FA, gréso-conglomératique, renferme les minéralisations uranifères dont la pechblende représente la principale minéralisation associée à la matière organique ou parfois à la coffinite.

La FB pélitique à la base évolue vers des roches plus gréseuses au sommet. Les autres formations FC, FD et FE sont principalement volcanosédimentaires.

Méthode d'évaluation de l'impact sur l'environnement

Dans le cadre de la mise en œuvre d'une politique de surveillance radiologique du site minier et de l'environnement, ainsi que de l'évaluation de l'impact des installations d'extraction et de traitement des minerais d'uranium sur les populations vivant à proximité, en l'absence d'une réglementation nationale gabonaise en cours d'élaboration, la COMUF applique la réglementation française (Décret n° 90-222 du 9 mars 1990) et les recommandations édictées par les CIPR n° 26 et 43.

Figure 1. Géologie du Bassin Francevillien

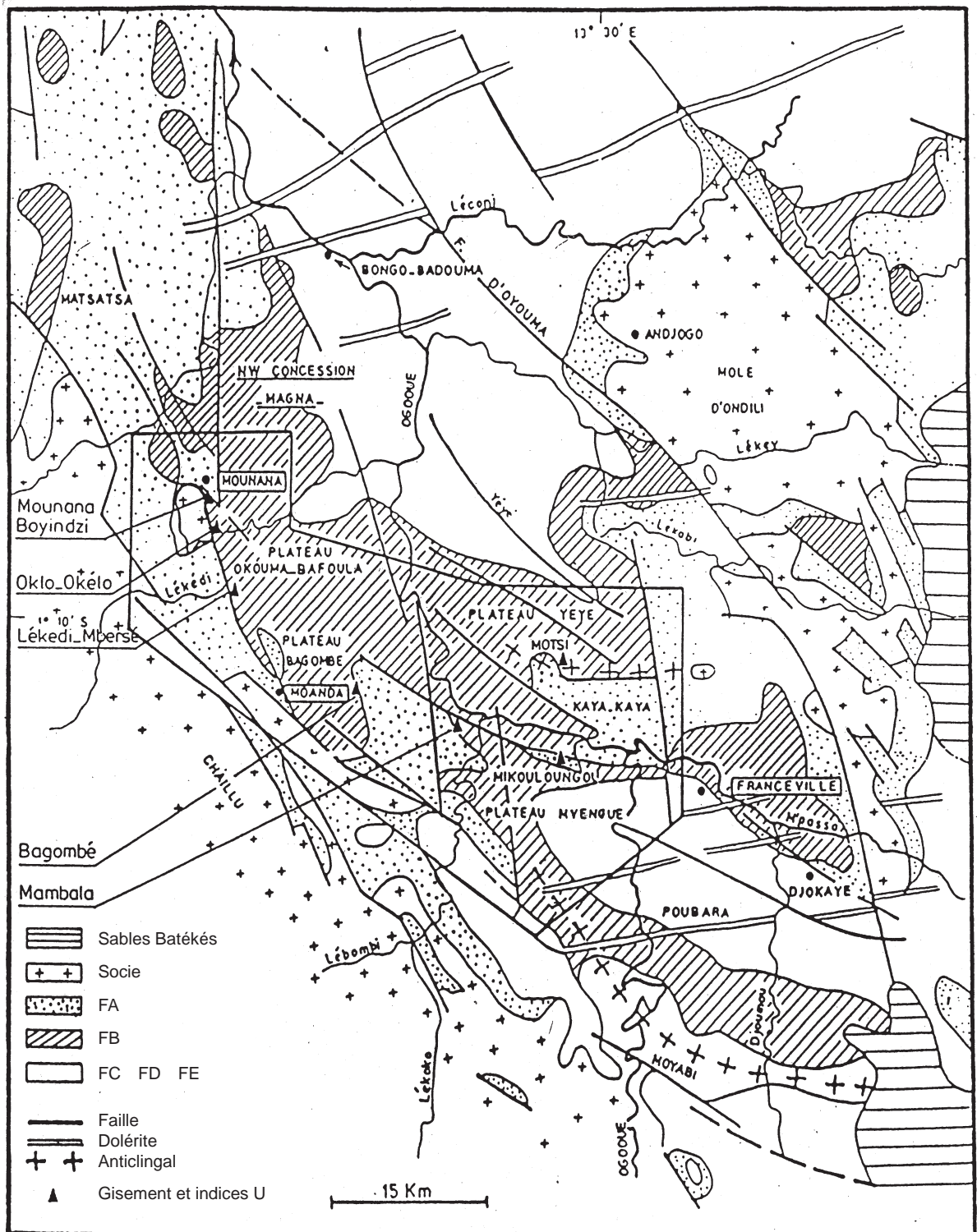
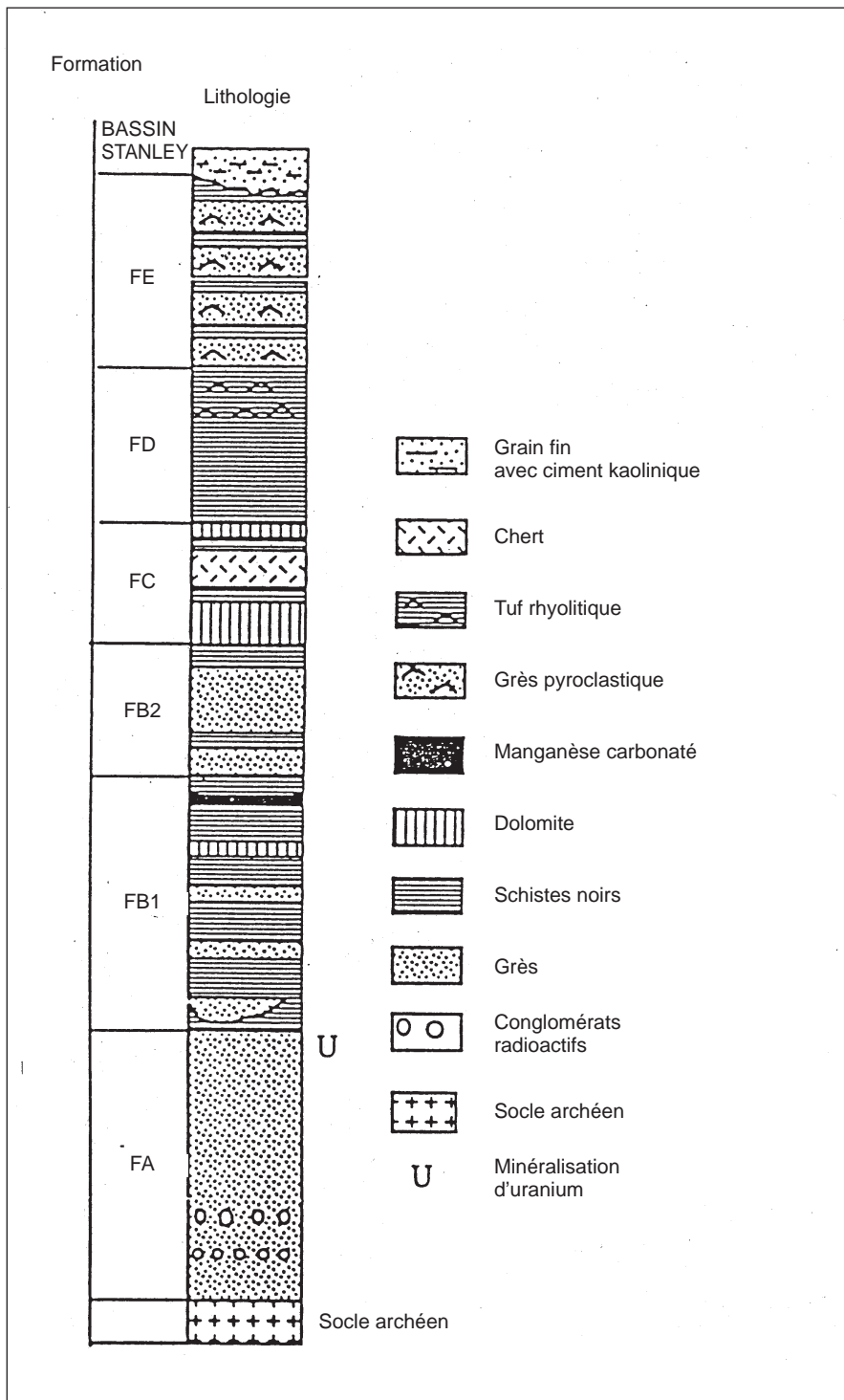


Figure 2. Stratigraphie de la série du Francevillien dans le bassin de Franceville



En application des textes précités, la COMUF a mis en place un réseau de surveillance radiologique de l'air et de l'eau, principaux vecteurs de transfert de la pollution radiologique dans l'environnement.

Les risques radiologiques à prendre en compte pour les populations sont : l'exposition externe due aux rayonnements gamma ; l'exposition interne due à l'inhalation des émetteurs alpha, descendants à vie courte du ^{222}Rn et radon 220 ; l'exposition interne due à l'ingestion de ^{226}Ra et de ^{228}U présents dans les eaux de consommation.

Ce réseau de surveillance, constitué de stations à postes fixes, répond aux prescriptions imposées par la réglementation ci-dessus mentionnée.

Méthode de surveillance radiologique du vecteur air

Sur l'ensemble de la zone, des stations de mesures des expositions externes et des expositions internes dues aux descendants du radon sont actuellement en place, à poste fixes (voir figure 3). Ils permettent de mesurer mensuellement l'impact radiologique des installations industrielles sur les populations.

Le réseau de surveillance composée actuellement de onze dosimètres de site se répartit comme suit :

Cinq dosimètres sont implantés dans les zones d'habitations proches du site minier : le village de Massango ; la cité Ambié ou 5 000 ; la cité Rénovation ; le marché de Mounana (en remplacement du dosimètre implanté au collège C.E.S.) ; et la cité Cadres.

Un dosimètre est implanté dans une zone d'habitation éloignée du site minier, le village d'Omoi, considéré comme milieu naturel.

Trois dosimètres sont implantés dans les zones utilisées par les travailleurs : atelier BTIG (scierie) ; garage VL/PL ; et hôpitaux/bureaux.

Deux dosimètres sont implantés sur la zone de passage des populations : à proximité de l'ancienne carrière de Mounana, zone en cours de réhabilitation et de passage des populations vers les bureaux et le centre hospitalier ; en aval de la digue, passage des populations vers les zones des plantations.

L'exposition externe est due aux rayonnements bêta et gamma en provenance des produits solides (tas de minerais et résidus de traitement de l'usine). Les risques d'exposition externe sont dus aux radionucléides de la chaîne de l'uranium dont les principaux sont, par ordre décroissant : ^{214}Bi , ^{214}Pb , $^{234\text{m}}\text{Pa}$ and ^{234}Th .

Les risques d'exposition interne sont liés à l'inhalation de substances radioactives émettrices de rayonnements alpha de la chaîne de ^{238}U . Deux types de radionucléides sont susceptibles d'être inhalés par les populations :

- les émetteurs alpha à vie courte : ^{218}Po et ^{214}Po pour le ^{222}Rn ; ^{216}Po , ^{212}Bi et ^{212}Po pour le ^{220}Rn ;

- les émetteurs alpha à vie longue présents dans les poussières en suspension dans l'atmosphère susceptibles de contenir des traces d'uranium et donc de leurs descendants ^{238}U , ^{234}U , ^{220}Th , ^{226}Ra et ^{210}Po .

Les dosimètres à postes fixes du réseau de surveillance mesurent l'ensemble de ses critères. Chaque station de mesure comporte :

- un dosimètre thermoluminescent (DTL) comprenant 3 pastilles de fluorure de lithium pour mesurer le rayonnement gamma ambiant pendant 3 mois ;
- une « tête de mesure » alpha pour mesurer la concentration atmosphérique en énergie alpha potentielle des descendants à vie courte du ^{220}Rn et du ^{222}Rn , ainsi que l'activité alpha totale des poussières radioactives à vie longue sur une période d'un mois ;
- un préleveur d'air avec volumètre intégré, permettant d'effectuer avec la tête de mesure alpha un échantillonnage en continu de l'air susceptible d'être inhalé par la population.

Méthode de surveillance radiologique des eaux

Durant toute l'année 1996 et les années précédentes, la COMUF a réalisé un suivi de la qualité radiologique et physico-chimique des eaux de surface et de consommation suivant un plan de surveillance élaboré dans le cadre du contrôle de l'impact de ses installations sur l'environnement.

Dans le cadre de l'étude SYSMIN confiée à la société ALGADE, celle-ci, en collaboration avec la COMUF, a poursuivi de janvier à mars 1997 ce suivi mensuel sur 11 stations réparties sur l'ensemble des eaux rejetées par les installations vers le milieu naturel et sur différents cours d'eau récepteurs (voir figure 3).

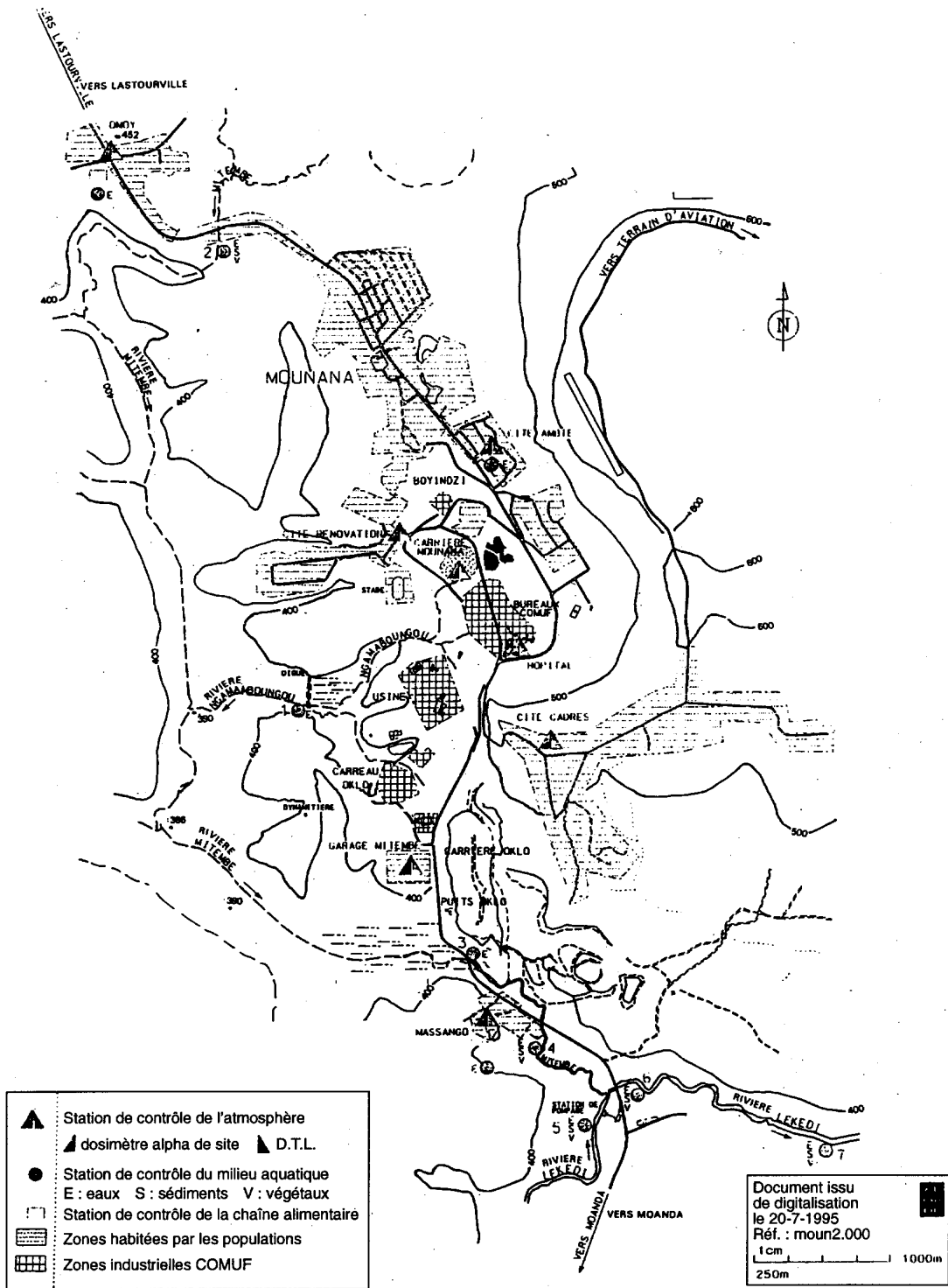
Dans le cadre de cette surveillance radiologique de l'environnement du site industriel de COMUF et pour l'étude SYSMIN, ces contrôles de rejets et du milieu récepteur ont été complétés par des analyses trimestrielles sur un an environ (de janvier 1996 à janvier 1997) des eaux de consommation des différentes zones habitées proches du site.

Les analyses réalisées sur tous les échantillons prélevés ont porté sur la concentration en ^{226}Ra soluble et insoluble, la concentration en ^{238}U soluble et insoluble, le pH, les matières en suspension (M.E.S.), la salinité totale, la concentration en sulfates (SO_4^{2-}).

Les critères physico-chimiques ont été analysés suivant des méthodes classiques par le laboratoire de la COMUF.

Les critères radiologiques ont été analysés par la société ALGADE. L'analyse du ^{226}Ra a été réalisée par « émanométrie » selon la méthode CEA/CETEMA n° 18 de février 1991 et l'analyse de ^{238}U par « fluorimétrie » selon la méthode CEA/CETEMA n° 4 de juin 1990.

Figure 3. COMUF-MOUNANA
 Plan de surveillance radiologique de l'environnement
 Situation fin 1996



Résultats enregistrés et dispositions de protection des populations

Surveillance du vecteur air

Exposition interne due à l'énergie alpha potentielle (EAP)

À la fin de 1996, une dizaine de stations permettaient de mesurer mensuellement les concentrations volumiques dans l'air de l'énergie alpha potentielle due aux descendants à vie courte du radon, susceptible d'être inhalée par les populations.

Le tableau 1 présente l'ensemble des résultats déjà enregistrés sur les stations gérées par le service de radioprotection de la COMUF.

Tableau 1. **Points de contrôle EAP ²²²Rn (en nJ/m³)**

Année	Cité 5000	Cité rénovée	Garage	Hôpital/ BRP	Massango	Omoi*	Carrière Mounana**
1989	96	96		101	54		
1990	110	129		121	72		
1991	23	44		151	33		
1992	145	169	152	125	121		
1993	142	156	284	173	128		
1994	126	183	185	136	100		
1995	97	132	142	114		66	339
1996	87	111	88	111	76	49	
Moyenne générale	103	127	170	130	75	58	339

* Niveaux naturels.

** Zone de stockage des résidus de traitement en cours de réhabilitation.

On peut noter que le niveau moyen annuel obtenu est égal à 121 nJ/m³ pour l'EAP ²²²Rn. Cette moyenne ne prend pas en compte les valeurs du site d'Omoi (milieu naturel) et de la carrière de Mounana (zone de stockage des résidus de traitement en cours de réaménagement).

Exposition externe due aux rayonnements gamma

À la fin de 1996, une dizaine de stations équipées de dosimètres thermoluminescents permettaient de mesurer trimestriellement les débits de dose dûs aux rayonnements gamma susceptibles d'être reçus par les personnes du public.

Le tableau suivant présente l'ensemble des résultats obtenus sur les différentes stations de mesures.

Tableau 2. **Points de contrôle exposition externe (contrôle exposition gamma en nGy/h)**

Année	Cité 5000	Cité rénovée	Garage	Hôpital/ BRP	Massango	Omoi*	Carrière Mounana**	Cité cadres	C.E.S.	Cité ouvrière
1989	150	150		180	170			165	160	170
1990	100	100		100	80			100	80	80
1991	140	130		165	115			145	130	140
1992	90	70		120	105			85	90	95
1993	110	125		165	120			140	135	170
1994	120	110	170		120	170		130	180	
1995	160	150	170	150	180	180	870	110		
1996	190	150	180	160	200	200	740	140		
Moyenne générale	132	123	173	148	136	183	805	127	129	131

* Niveaux naturels.

** Zone de stockage des résidus de traitement en cours de réaménagement.

Le niveau moyen (137 nGy/h) issu de l'ensemble des stations situées dans l'environnement proche du site minier ne prend pas en compte les valeurs relevées sur le site d'Omoi (milieu naturel) et de la carrière de Mounana (zone de stockage des résidus de traitement en cours de réaménagement).

Surveillance du vecteur eau

Les résultats du suivi des eaux des bassins versants de la Boyindzi, de la Gamambougou et de la Mitémbé, qui ne sont pas des eaux à usage domestique ont permis de mettre en évidence :

pour le bassin de la Boyindzi

- Une absence d' ^{238}U soluble dans les eaux de cette rivière, il en est de même pour le ^{226}Ra .
- Une concentration supérieure au seuil de détection du ^{226}Ra insoluble, à savoir 0,02 Bq/l en 8 points de prélèvement, cependant ces valeurs restent inférieures à 0,07 Bq/l.
- pH, matières en suspension (m.e.s.), sulfates et salinité totale s'apparentent aux valeurs naturelles du bassin versant de la Mitémbé.

Les bassins de la Gamambougou et de la Mitémbé

On note une légère influence de l'activité industrielle dans la rivière Gamambougou et dans la rivière Mitémbé après la confluence. Les concentrations en ^{226}Ra soluble sont comprises entre 8 et 15 Bq/l dans la Gamambougou et entre 1 et 3 Bq/l dans la Mitémbé en aval de la confluence. Le suivi a permis de mettre en évidence les sources de ^{226}Ra soluble : la digue à résidus de traitement et les eaux d'exhaure des travaux miniers souterrains. Une concentration en ^{238}U soluble supérieure à 2 mg/l en sortie digue. La présence de ^{238}U insoluble à l'échelle du bassin versant de la Mitémbé uniquement dans les eaux d'exhaure des travaux miniers souterrains. Les eaux provenant des mines sont les seules sources de ^{238}U insoluble.

Pour les eaux à usage domestique

Le suivi annuel réalisé montre que les eaux de consommation ne contiennent ni de radium soluble ou insoluble, ni d'uranium soluble ou insoluble. Le pH est proche de la neutralité et les concentrations en sulfates et en matières en suspension sont très faibles.

Les tableaux 3 et 4 indiquent les résultats des analyses faites sur les eaux souterraines et les eaux fournies aux villages autour du site.

Tableau 3. **Résultats des eaux souterraines**

STATIONS DE PRÉLÈVEMENT					
ÉLÉMENTS	EXO 1	EXO 2	EXB	NGA	E5
Soluble ^{226}Ra (Bq/l)	0,52	0,30	0,54	0,05	0,45
Insoluble ^{226}Ra (Bq/l)	38,87	0,02	0,02	<0,02	12,03
Soluble ^{238}U (mg/l)	0,20	<0,10	<0,10	0,10	0,24
Insoluble ^{238}U (mg/l)	2,79	<0,10	<0,10	<0,10	0,78

EXO 1: Exhaure OKLO drain 400

EXO 2: Exhaure OKLO MCO

EXB: Exhaure BOYINDZI

NGA: Puits artésien carrière Ngangolo

E5: Sortie carrière OKLO

Tableau 4. **Résultats des eaux d'alimentation des villages environnants du site**

STATIONS DE PRÉLÈVEMENT				
ÉLÉMENTS	Mounana	Omoi	Massango	Ngangolo
Soluble ^{226}Ra (Bq/l)	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Insoluble ^{226}Ra (Bq/l)	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Soluble ^{238}U (mg/l)	<0,10	<0,11	<0,10	<0,10
Insoluble ^{238}U (mg/l)	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
pH	7,8	7,2	7,3	6,0

Conclusions

Dans l'état actuel du site industriel de Mounana, les eaux de la rivière Gamambougou sont, tant du point de vue radiologique que physico-chimique, insalubres et impropres à toute utilisation domestique.

Les eaux de la rivière Mitémbé en aval de la confluence restent acides jusqu'au confluent avec la rivière Lékédi, en conséquence impropres à tout usage domestique.

Les eaux de la Lékédi présentent, tant du point de vue radiologique que physico-chimique, des caractéristiques qui n'entraînent pas des dispositions particulières. Elles ne semblent pas présenter de risque sanitaire.

Les eaux de consommation actuellement utilisées ne semblent pas présenter, du point de vue radiologique et physico-chimique, de risques sanitaires pour les populations concernées et résidant dans le périmètre du site.

L'air proche du site minier de Mounana et de ses environs ne semble pas présenter de caractéristiques radiologiques susceptibles d'entraîner un impact sanitaire particulier sur les populations. Les résultats enregistrés à ce jour seraient conformes et répondraient aux normes de la CIPR 26 et de la réglementation française (Décret n° 90-222 du 9 mars 1990).

Cependant des dispositions sont déjà prises, dans le cadre du réaménagement du site minier pour répondre aux futures normes (CIPR 60 et 65) en ce qui concerne les populations et l'environnement.

Les stations actuelles à postes fixes sur le site de Mounana seront maintenues en place, même après la fermeture des installations de la COMUF. Elles permettront ainsi, à l'Administration des Mines via l'Autorité Réglementaire, de continuer à veiller sur l'état radiologique de ce site après les importants travaux de réhabilitation déjà en cours.

BIBLIOGRAPHIE

Surveillance radiologique des travailleurs et de l'environnement, Bilan de l'année 1994 – Rapport CRPM-ALGADE. RP/95-581/cv. COMU/1.3.

Surveillance radiologique des travailleurs et de l'environnement, Bilan de l'année 1995 – Rapport CRPM-ALGADE. RP/96-1 100/cv. COMU/1.3.

Surveillance et protection radiologique du personnel et de l'environnement d'un site minier et industriel. Cas des mines d'uranium de la COMUF à Mounana (Gabon). Rapport inédit, C. J. LOUEYIT, mars 1994.

Stockage des rejets et réhabilitation des anciens stockages des installations de COMUF à Mounana (Gabon). Rapport mission d'expertise INITEC au Gabon (13-19 novembre 1995).

Étude des dispositions concernant les stockages de résidus de traitement de minerai d'uranium et fermeture des exploitations de la société COMUF à Mounana (Gabon). ALGADE, 25 mai 1997.

• Hongrie •

PLAN DE FERMETURE DE L'INDUSTRIE DE L'URANIUM DANS LE MASSIF DE MECSEK

Le gouvernement hongrois a décidé de mettre fin à la production nationale d'uranium le 31 décembre 1997. En 1996, la société MECSEKURAN Ltd. et la Société minière de Mecsek ont élaboré le Plan de déclassement de l'industrie de l'uranium dans le massif de Mecsek. Ce plan a été examiné et accepté par les autorités compétentes, notamment en matière de mines, d'environnement et d'eau. Il englobe toutes les installations présentes sur le site de 65 km², dont 4 puits d'extraction (110-1 200 m), 3 cheminées d'aéragage, la descenderie principale qui débouche à la surface et les chantiers d'exploitation souterrains des mines.

Le plan fixe les procédures de démantèlement et de démolition de l'installation de traitement du minerai, y compris le vidage et la décontamination du matériel technologique. Il définit les méthodes à appliquer lors des travaux de remise en état (études du sol et de l'eau, aménagement rural, drainage, couverture des résidus et des bassins de décantation), indique l'épaisseur du nouveau sol et de la végétation etc. Il comporte en outre un calendrier et un plan de financement très détaillé pour les travaux. La « question humaine » représente un volet très important du plan.

Le plan couvre entre autres :

- les aspects réglementaires (autorités, principes de base et besoins en matière de radioprotection) ;
- les inventaires des chantiers d'exploitation souterrains ouverts, des bâtiments et des installations, des résidus et bassins de décantation, des résidus de la lixiviation en tas, et des réserves et ressources en uranium restantes ;
- la description du gisement et des installations d'extraction et de traitement (milieu géologique et hydrogéologique et traitement du minerai) ;
- les incidences de l'extraction et du traitement de l'uranium (les problèmes sont classés en fonction de leur urgence) ;
- les principes de remise en état (traitement de l'eau, traitement de l'uranium et surveillance) ;
et
- les options de réutilisation des sites d'extraction et de traitement.

En avril 1997, le gouvernement hongrois a entériné la fermeture des mines selon les dispositions de ce plan. La fermeture des installations, la remise en état et l'aménagement rural doivent être achevés en 2002, pour un coût prévu de 14 à 15 milliards de HUF, soit quelque 80 à 85 millions de dollars des États-Unis.

Les dispositions législatives et réglementaires qui s'y rapportent sont : la Loi minière n°XLVIII de 1993, le Règlement du gouvernement n°152/1995 sur l'environnement, la Loi de 1996 sur l'Énergie Atomique, le Rapport technique n°362 de l'AIEA, et le Rapport de l'Institut national de radiobiologie et de santé (1991).

• Inde •

En Inde, les questions d'environnement liées à l'extraction et au traitement de l'uranium sont régies par les règlements de 1996 en matière d'énergie atomique (usines) et les règlements de 1996 sur la radioprotection liée à l'énergie atomique, dans le cadre de la Loi sur l'énergie atomique de 1948, modifiée en 1962. Un Comité de sûreté établi par la Commission de réglementation de l'énergie atomique supervise les aspects ayant trait à la sûreté des projets de la société *Uranium Corporation of India Ltd.* (UCIL) et de la Division des minéraux atomiques (Atomic Minerals Division – AMD).

Mines

Les mines sont suffisamment ventilées pour que la quantité de radon et de poussières ne dépasse pas les limites admissibles. Le minerai tout-venant renferme 60 à 64% de silice et présente une teneur en uranium de 0,05 à 0,065% d' U_3O_8 . L'exposition aux poussières de silice en suspension dans l'air est jugée nocive. Si le rayonnement alpha à vie longue dans l'air, le radon et le rayonnement gamma extérieur entraînent des risques radiologiques, ils sont moins importants en raison de la faible teneur du minerai.

Le dépoussiérage est assuré par l'adoption d'un dispositif à brouillard sec et d'un dépoussiéreur par voie humide installés aux points de connexion dans l'unité de concassage. Tous les membres du personnel ont été munis d'équipements de protection tels que masque respiratoire individuel, casque de sécurité, chaussures en cuir, bottes en caoutchouc et tenue de protection.

Usines

Les blocs de minerai d'uranium sont broyés en deux étapes jusqu'à une granulométrie de 200 mm et 25 mm environ. Le produit final issu du tamis à trois couches subit un broyage autogène réalisé au moyen de quelques éléments de -113 + 65 mm.

Le minerai broyé est réduit en deux étapes jusqu'à des granulométries correspondant à des dimensions de maille de 608 et 200 par broyage par voie humide. Le circuit de broyage comporte un système d'élimination des poussières aux points de transfert du minerai fin. Les boues et le minerai renversés sont régulièrement nettoyés sur le lieu de travail. La boue de minerai est lixiviée à l'aide d'acide sulfurique en présence de pyrolusite à 40°C dans des pachucas. L'acide sulfurique n'est pas directement manipulé par les ouvriers. La pyrolusite est broyée en milieu humide et utilisée sous forme de boue. La liqueur de lixiviation clarifiée est purifiée par échange d'ions et l'uranium est précipité sous forme de diuranate d'ammonium.

La boue de résidus neutralisée est séparée dans des hydrocyclones. Le sable à gros grain sert à remblayer les mines. Les fines sont pompées vers le bassin de retenue des résidus en vue de leur confinement. La liqueur en excès est décantée. Une partie de celle-ci est recyclée dans l'usine et le reste est précipité sous forme de sulfate de radium et de baryum à l'aide de chlorure de baryum, et alcalinisé à la chaux jusqu'à pH 10 pour faire précipiter le manganèse. Les précipités sédimentés sont renvoyés par pompage vers le bassin de retenue des résidus. L'eau traitée est acidifiée jusqu'à pH 7,5 à 8 avec de l'acide sulfurique et rejetée dans le cours d'eau naturel.

• Japan •

Le Japon ne procède à l'heure actuelle à aucune extraction ou transformation de l'uranium. Les déchets générés au cours des activités passées de production d'uranium ont été traités conformément à toutes les réglementations en la matière.

Dispositions législatives et réglementaires applicables à la fermeture des mines et des installations de traitement de l'uranium

- Installations d'extraction de l'uranium : Loi et réglementations sur la sûreté des mines.
- Usines de traitement de l'uranium : Loi et réglementations sur la sûreté des mines.
- Matières premières nucléaires : Loi sur les combustibles et les réacteurs nucléaires (Loi sur le contrôle de l'énergie atomique) et Réglementation sur les matières premières nucléaires et les opérations de traitement des combustibles nucléaires.

Loi et réglementations sur la sûreté des mines

Les réglementations ne visent pas uniquement l'extraction et le traitement de l'uranium, mais aussi des produits comme le pétrole, le charbon, la chaux et les métaux. Les réglementations comportent des dispositions relatives à la radioprotection dans le contexte de l'extraction et du traitement de l'uranium.

Si le droit d'exploitation minière est cédé ou abandonné, la « Loi sur la sûreté des mines » dispose que soit établie l'obligation de prendre des mesures pour prévenir la pollution d'origine minière engendrée par les décharges de stériles, le site d'évacuation des résidus ou une excavation désaffectée. La loi désigne aussi l'entité responsable sur ce point.

Le titulaire d'une concession minière n'est autorisé à évacuer les stériles, les résidus et les précipités que sous forme de déblais ou de couches. Les normes techniques de la remise en état 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 éviter la fuite des effluents de déchets. Une fois que l'empilement des déchets est terminé, le site d'évacuation doit être recouvert de sol et replanté.

Les réglementations susmentionnées s'appliquent à toutes les mines, y compris les mines d'uranium. Dans ces dernières, l'intensité du rayonnement externe et la présence de substances radioactives dans l'air et l'eau font l'objet d'une attention particulière. La radioprotection des mineurs et de la population est réglementée. La loi reste muette au sujet de la fermeture des installations. On estime toutefois que les réglementations sur la radioprotection des humains dans une exploitation en activité s'appliquent lors de la fermeture de celle-ci.

Loi sur le contrôle de l'énergie atomique

La *Loi sur le contrôle de l'énergie atomique* a pour objet : de limiter les utilisations des matières premières nucléaires, des combustibles nucléaires et des réacteurs nucléaires au domaine civil exclusivement ; de prévenir les catastrophes ; et d'assurer la sûreté publique. Cette loi ne s'applique qu'au traitement, pas à la prospection ni à l'extraction.

Lorsqu'une usine de traitement cesse d'être en activité, l'exploitant en retire tous les combustibles nucléaires, la décontamine, et évacue les matières contaminées. Le ministre chargé de la réglementation prescrit les mesures nécessaires si la fermeture ne s'est pas déroulée correctement. Lorsque des combustibles nucléaires contaminés sont évacués à l'extérieur de l'installation, des mesures de sûreté doivent être prises en application du décret ministériel. Le ministre ordonnera les mesures qui s'imposent si la méthode d'évacuation enfreint le décret ministériel.

• Jordan •

La Jordanie possède quatre gisements de phosphate uranifères. Pour le moment, elle ne produit pas d'uranium. Toutefois, une étude de faisabilité portant sur l'extraction d'uranium à partir de l'acide phosphorique a été initiée.

Pour évaluer les effets des gisements de phosphates uranifères sur l'environnement, on procède actuellement à une étude et à une évaluation systématiques de la concentration d'uranium dans les phosphates jordaniens. Les gisements de phosphates de Shidia, qui composent de loin la plus vaste réserve de phosphates du pays, se caractérisent par des teneurs relativement faibles en uranium, soit une moyenne de 50 ppm. Ceci est considéré comme très favorable, du point de vue de l'impact éventuel sur l'environnement des phosphates naturels et de leurs dérivés, comme l'acide phosphorique et certains composés phosphatés, et les engrais phosphatés.

• Kazakstan •

Au cours des cinquante dernières années, plus de cent indices d'uranium ont été explorés et une centaine d'entre eux ont été exploités. Quelque 230 millions de tonnes de déchets radioactifs ont été accumulés au Kazakstan, à la suite de cette activité. Ces déchets diffèrent par la radioactivité et le degré de cohésion.

Kurday a été le premier gisement d'uranium présentant un intérêt économique découvert au Kazakstan. Il a été exploité peu après sa découverte qui a eu lieu en 1954 dans le sud du pays. Le

Centre de production de Kirgiz (combinant l'extraction et le traitement) a été mis en service en 1959, pour traiter des minerais issus de gisements du sud du Kazakstan, dont celui de Kurday. Le Centre de production de Kirgiz, ainsi que les résidus du traitement se trouvent maintenant dans la République du Kirghizistan. Trois centres de production ont été construits ultérieurement dans différentes parties du Kazakstan : le Centre Pricaspian à l'ouest, Tselinny au nord et Ulbinsky à l'est.

Le Kazakstan compte environ 15 gisements d'uranium épuisés, fermés ou en réserve. Actuellement, la production d'uranium a diminué considérablement et l'extraction s'effectue principalement par LIS. Cette méthode engendre moins de déchets radioactifs que l'extraction classique. Néanmoins, le Kazakstan demeure confronté au problème de ses déchets radioactifs abandonnés, car les entreprises qui ont produit ces déchets n'existent plus.

Seuls deux centres de production sont actuellement en service (Tselinny et Ulbinsky) et continuent de confiner leurs résidus. Le Centre de production Pricaspian est fermé. Ses résidus sont à l'abandon. Ils présentent un danger, comme « plages de poussière » par exemple.

Il y a au Kazakstan une loi « sur l'utilisation de l'énergie atomique » et un projet de loi « sur la gestion des déchets radioactifs ». Des codes réglementaires sont en vigueur concernant le déclassement et la remise en état des zones de production. Plusieurs projets sont prévus pour la remise en état des sites qui abritent des déchets d'extraction et de traitement. Toutefois, aucun de ces projets n'est en cours d'exécution en raison des difficultés financières que connaît le Kazakstan.

L'examen et l'inspection systématiques des déchets miniers ont débuté dans les années 90, au Kazakstan. En 1996, la première phase du Projet NUCREG n°9308 intitulé « Étude des mesures d'urgence à prendre pour décontaminer les mines et les résidus du traitement de l'uranium dans la Communauté d'États indépendants (CEI), Projet régional n°G42/93 » a été exécutée dans le cadre du programme TACIS de l'Union européenne en faveur des anciens pays de la CEI. Cent sites de stockage des déchets ont été répertoriés. Une étude destinée notamment à mesurer l'incidence des déchets sur les localités les plus proches sera menée sur cinq sites sélectionnés. La conception et l'élaboration de mesures visant la remise en état de la totalité des sites du territoire national seront formulées au cours de la troisième et quatrième phase de ce projet.

Depuis 1995, le Kazakstan recourt essentiellement à la LIS pour extraire l'uranium. Cette méthode engendre nettement moins de déchets radioactifs, mais pose d'autres problèmes, comme la contamination des aquifères minéralisés. Les avis sur la restauration de la qualité des eaux de l'aquifère sont partagés. Certains pensent que l'aquifère pourrait se décontaminer ou se régénérer naturellement en l'espace de 10 à 20 ans après l'extraction. La plupart des chercheurs estiment toutefois que l'assainissement des aquifères après l'extraction est un processus complexe et onéreux. Cela serait particulièrement vrai au Kazakstan, où on pratique la lixiviation in situ (LIS) à l'acide sulfurique.

À l'heure actuelle, l'AIEA mène avec des organisations kazakes le projet de coopération technique KAZ/3/002: « Technologies modernes relatives à l'extraction d'uranium par lixiviation in situ » en vue de sélectionner la technologie de LIS optimale. Il s'agit de réduire les incidences sur l'environnement de l'extraction d'uranium par LIS. Les résultats de ce projet, lancé en 1997, seront pour autoriser l'exploitation des installations de production d'uranium qui contaminent le moins les aquifères minéralisés.

• Namibia •

MINE D'URANIUM DE RÖSSING

La Namibie ne possède qu'une seule mine d'uranium en service, celle de Rössing. Les informations fournies ci-dessous ont trait à cette mine et sont extraites de « The Rössing Fact Book ».

La mine de Rössing observe un code strict sur la radioprotection. Le code s'appuie sur les recommandations de la Commission internationale de protection radiologique (CIPR) et de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA). Ce code offre avant tout un moyen de se prémunir contre un niveau de risque inacceptable associé à la radioexposition. Les sources de rayonnement sont identifiées, quantifiées, contrôlées et réduites au minimum.

Rössing livre un minerai de faible teneur. C'est le produit final qui présente la concentration d'uranium la plus élevée, obtenue par grillage et conditionnement de l'oxyde d'uranium. Les employés qui travaillent sur ce site portent une tenue spéciale de protection ainsi qu'un dosimètre individuel thermoluminescent. L'analyse des traces d'uranium dans les échantillons d'urine de chaque employé est effectuée une fois par mois, afin de contrôler l'exposition interne. Tous les employés qui quittent l'unité de récupération finale du produit passent par un détecteur de rayonnements. Les employés qui travaillent à la production sont exposés en moyenne à quelque 4,5 mSv par an, dose inférieure à la limite de 20 mSv recommandée par la CIPR.

Audit de santé et d'environnement

Une équipe technique composée de membres de l'AIEA, de l'Organisation internationale du travail et de l'Organisation mondiale de la santé a procédé à une évaluation complète de l'état de santé de la population et de l'environnement, à la demande du gouvernement namibien. Le rapport de cette étude, disponible auprès de l'AIEA, indique dans sa conclusion que « les programmes de sûreté radiologique et de surveillance médicale de Rössing sont un bon exemple pour d'autres industries de la même catégorie dans le reste du monde ».

Les concentrations de radon et de thoron sont mesurées régulièrement dans la mine et aux alentours. Diverses études ont montré l'absence de concentrations anormalement élevées de radon. En outre, les concentrations de thoron atteignent un huitième de celles du radon. Le dioxyde de soufre, le gaz de soudage, l'ammoniac, les fumées d'échappement et les gaz radioactifs (thoron et radon) sont à l'origine des risques industriels courants. Le dioxyde de soufre est le plus gros polluant émis par l'installation de traitement à l'acide et plusieurs détecteurs de dioxyde de soufre ont été disposés sur le site. Les modèles informatiques de l'Agence pour la protection de l'environnement des États-Unis sont utilisés pour simuler les émissions. La valeur moyenne des émissions répond aux normes de qualité de l'air de l'Afrique du Sud, qui sont prises comme repères. Tous les employés en contact avec des produits chimiques, des gaz et des fumées sont obligés de porter une tenue de protection appropriée.

La mine est située dans le désert du Namib, qui est un milieu aride où les tempêtes de poussière naturelles sont fréquentes. Les poussières libérées par la mine sont piégées en différents points disséminés sur tout le site de la mine.

Les roches abattues par pétardage et les voies de desserte sont aspergées d'eau. Seul le forage humide est autorisé et le minerai est aspergé au niveau du concasseur primaire. La poussière est interceptée par des dispositifs mécaniques à différents stades du concassage. Les cabines de tous les engins mobiles sont pourvues de climatiseurs et de filtres à poussière. Les personnes qui travaillent à l'extérieur sur des sites poussiéreux portent des masques respiratoires ou des casques « Airstream ». Première source d'émission de poussières, le bassin de retenue des résidus est recouvert en permanence d'une surface résistante à l'érosion.

Approvisionnement en eau

L'eau est essentielle pour les opérations d'extraction et de traitement. Elle sert également au transport du minerai et les déchets. Le Ministère de l'Agriculture, de l'Eau et du Développement rural distribue l'eau à partir de sources souterraines. La gestion de l'eau met l'accent sur l'économie et le recyclage, ainsi que sur le captage des eaux d'infiltration du bassin de retenue des résidus afin de prévenir toute contamination de l'eau souterraine naturelle. Environ 60% de l'eau utilisée par la mine est recyclée. Les substances acides et radioactives se fixent sur les résidus. L'eau d'infiltration est contenue par une série de fossés et de puits, d'où elle est pompée afin d'être réutilisée. La qualité des eaux est surveillée dans des échantillons prélevés régulièrement, en collaboration avec le Service des eaux. Un programme de surveillance de la végétation est également conduit.

Plan de démantèlement

On a mis au point un plan de démantèlement portant sur la radioactivité, la qualité de l'air et de l'eau, et la remise en état du site minier. La mine devrait continuer à être exploitée pendant au moins vingt ans encore, aussi le démantèlement n'interviendra-t-il pas dans un avenir immédiat. Le plan de démantèlement est réexaminé tous les cinq ans et le montant budgété est revu une fois par an pour tenir compte de l'inflation. Les principaux éléments du plan sont : stabiliser les résidus et les recouvrir d'une couche de roches concassées ; nettoyer, démanteler et ôter toutes les structures construites par l'homme ; et remodeler le paysage du site de l'usine de traitement, avant de le recouvrir de stériles et d'alluvions ; et clôturer le site de la mine.

Après la fermeture de la mine, les eaux d'infiltration du bassin de retenue des résidus continueront d'être interceptées par les unités de captage installées. Ces eaux d'infiltration seront pompées vers la mine à ciel ouvert où elles s'évaporeront.

• Niger •

URANIUM ET ENVIRONNEMENT AU NIGER : SURVEILLANCE RADIOLOGIQUE ET ENVIRONNEMENT DE L'EXPLOITATION ET DU TRAITEMENT DU MINERAI D'URANIUM

Introduction

L'exploitation de l'uranium au Niger a débuté en 1968. Depuis cette date environ 68 917 tonnes d'uranium ont été extraites du sous sol national. Actuellement deux sociétés, la Somaïr et la Cominak, exploitent de l'uranium dans le pays à un rythme de 2 960 tonnes/an. En 1996, le Niger était 3ème producteur mondial d'uranium avec 3 321 tonnes produites. L'effectif de l'emploi dans le secteur de l'uranium a été de 2077 en 1996. Ces personnes, leurs familles et les travailleurs (et leurs familles) effectuant des activités annexes habitent dans deux cités minières situées à moins de 10 km des mines et des usines de traitement de l'uranium. La population globale de ces deux cités était estimée à 46 058 habitants en 1997.

Compte tenu des risques d'irradiation auxquels sont exposés les travailleurs des mines d'uranium et les populations environnantes notamment celles de ces cités minières, les deux sociétés ont développé au fil des ans des programmes de surveillance radiologique pour le contrôle de ces risques.

Pour ce faire chacune de ces sociétés est munie d'un service de radioprotection (doté d'un laboratoire de radioprotection) chargé de conduire le contrôle radiologique et l'application des mesures appropriées afin que l'irradiation subies par les travailleurs et leur environnement soit conforme à la législation en vigueur (Arrêté 31/MM/H du 5 décembre 1979).

Exposition radiologique

Les travailleurs des mines et usines de traitement de l'uranium et le public environnant sont exposés aux risques spécifiques d'irradiation liés aux effets radioactifs de l'uranium et des matières fissiles qui l'accompagnent. Ces effets sont :

- l'exposition externe due aux rayonnements gamma (γ) ;
- les expositions internes dues à l'énergie alpha potentiel des descendants (APD) du radon-222 à vie courte et aux poussières d'uranate et de minerai présentes dans l'atmosphère ; et
- les expositions internes dues à l'ingestion du radium-226 et de l'uranium-238 présents dans l'eau et les aliments consommés.

Pour chacune de ces expositions la réglementation a défini des valeurs limites de doses à ne pas dépasser (cf. tableau 1).

Le cumul des 4 risques est calculé (d'après l'Arrêté 31/MM/H) par les formules ci-dessous.

pour les travailleurs

$$\text{Total cumulé} = \frac{\gamma}{150 \text{ mSv}} + \frac{\text{EAP } ^{222}\text{Rn}}{14,4 \text{ mJ.m}^{-3}} + \frac{\text{Poussière minerais}}{2\,590 \text{ Bq.m}^{-3}.\text{h}} + \frac{\text{Poussière uranate}}{10\,600 \text{ Bq.m}^{-3}.\text{h}}$$

pour le public environnant

$$\text{Total cumulé} = \frac{\gamma}{5 \text{ mSv}} + \frac{\text{EAP } ^{222}\text{Rn}}{2 \text{ mJ}} + \frac{\text{EAP } ^{220}\text{Rn}}{6 \text{ mJ}} + \frac{\text{Poussière minerais}}{170 \text{ Bq}} + \frac{^{226}\text{Ra}}{7\,000 \text{ Bq}} + \frac{^{238}\text{U}}{2 \text{ g}}$$

Chacun de ces cumuls doit être inférieur à 1.

Tableau 1. **Limites annuelles réglementaires (3I/MM/H)**

Nature de l'exposition	Limites réglementaires	
	Employés des sociétés	Public environnant
Rayonnements gamma (externe) : γ	50 mSv	5 mSv
Énergie alpha potentiel du radon 222 (interne) : EAP Rn 222	14,4 mJ.m ⁻³ .h	2 mJ
Émetteurs alpha à vie longue présents dans les poussières de minerai (interne)	2 590 Bq.m ⁻³ .h	170 Bq
Émetteurs alpha à vie longue présents dans les poussières d'uranate (interne)	5 200 Bq.m ⁻³ .h	–
Descendants à vie courte du radon : EAP Rn 220	–	6 mJ
Ingestion du radium 226 présent dans l'eau et les aliments consommés (interne) : EAP Ra 226	–	7 000 Bq
Ingestion de l'uranium 238 présent dans l'eau et les aliments consommés (interne)	–	2 g

Étapes de la protection radiologique

Trois étapes peuvent être retenues dans la protection radiologique : la prévention, le contrôle radiologique, et le traitement des cas graves.

La Prévention radiologique

Il s'agit de connaître les sources d'irradiation afin de les éliminer ou de réduire au minimum possible leur effet sur le personnel et l'environnement. Les moyens d'action sont les suivants :

- la lutte contre le soulèvement des poussières radioactives: arrosage des pistes, des tirs d'abattage, des stations de concassage, etc. ;
- l'élimination des gaz radioactifs (radon et ses descendants) par l'intensification de l'aéragé (aéragé primaire, secondaire, barrage d'aéragé) ;

- l'isolement des chambres d'enfûtage, le nettoyage des niveaux à forte exposition (broyage, attaque, filtration) ;
- le port des masques anti-poussières par les travailleurs ;
- le renforcement des équipes de radioprotection ;
- la distribution aux employés exposés d'aliments qui aident le corps à mieux lutter contre la poussière, notamment le lait ;
- l'hygiène du corps et des combinaisons de travail.

Le contrôle radiologique

Il consiste aux mesures (aux stations de contrôle) des doses d'irradiation subies par les travailleurs, le public et l'environnement afin de prévenir les risques et d'apporter à temps des solutions pour minimiser ces risques d'irradiation conformément à la réglementation en vigueur. Le contrôle radiologique s'effectue à travers : la dosimétrie du personnel, le contrôle radiologique des zones d'exploitation, et le contrôle radiologique de la pollution de l'environnement.

La dosimétrie du personnel

La surveillance radiologique des travailleurs est basée sur l'utilisation du système intégré de dosimétrie de la société ALGADE (France). Le contrôle radiologique du personnel est fait par les trois méthodes suivantes :

- La dosimétrie individuelle : elle consiste à doter individuellement certains employés (les plus exposés, c'est à dire ceux affectés à des travaux souterrains miniers, géologiques, d'encadrement et de maintenance) d'appareils (dosimètres) de mesure de dose d'irradiation absorbée.
- La dosimétrie de fonction : c'est le contrôle de la dose d'irradiation subie par un individu pris comme échantillon dans un groupe d'employés travaillant dans les mêmes conditions ; cette dose est ensuite supposée reçue par chacun de ses collègues de travail.
- La dosimétrie d'ambiance : elle consiste à la surveillance d'un lieu de travail ; la dose d'irradiation obtenue est par la suite affectée à chacun des travailleurs de ce lieu proportionnellement au temps que celui-ci y a passé.

La dosimétrie du personnel (cf. tableau 2) permet de déterminer les doses absorbées :

- trimestriellement pour l'exposition externe due aux rayonnements gamma ; et
- mensuellement pour les expositions internes dues à l'énergie alpha potentielle des descendants à vie courte du radon-222, aux émetteurs alpha à vie longue présents dans les poussières de minerai et aux émetteurs alpha à vie longue présents dans les poussières d'uranate.

Les limites de ces expositions autorisées par la législation nigérienne (Arrêté 31/MM/H) sont donnés au tableau 1.

Tableau 2. **Dosimétrie du personnel**

Méthode de contrôle	Nombre d'appareils utilisés		Nombre d'employés contrôlés		Postes contrôlés	
	Somaïr	Cominak	Somaïr	Cominak	Somaïr	Cominak
Individuelle	85	456		456	Tous les travailleurs	Travaux souterrains et usine (les plus exposés)
Dosimétrie de fonction		69		435		Travailleurs épisodiques à la mine et à l'usine (les moins exposés)
Dosimétrie d'ambiance						
Total		525	614	891		

Contrôle de l'ambiance de travail

Il s'effectue à travers :

- *Le contrôle quotidien de l'atmosphère de travail.* Des mesures ponctuelles de l'atmosphère de travail de la mine et de l'usine sont quotidiennement effectuées aux fins de contrôle de l'ambiance de travail pour au moins un des quatre risques, afin d'apporter des solutions immédiates aux postes présentant des risques anormaux.
- *Le prélèvement de poussière sur Dlawettes de sédimentation.* Des plaquettes de sédimentation sont installées à divers points de la zone d'exploitation. Ces plaquettes sont retirées et remplacées chaque semaine et leur contenu pesé et analysé.

Contrôle radiologique de l'environnement

Il s'effectue à travers des stations de captage de poussières sur plaquettes de sédimentation, l'analyse des légumes et des eaux consommés par les populations environnantes et des terres prélevées. Le contrôle radiologique de l'environnement permet de connaître les dommages causés au public environnant, afin de prendre les dispositions nécessaires pour le respect des doses limites d'irradiation autorisées par la législation en vigueur (cf. tableau 1).

Les risques encourus par le public sont l'exposition externe due aux rayonnements gamma et les expositions internes dues à l'inhalation des émetteurs alpha descendants à vie courte du radon-222 et du radon-220, à l'inhalation des émetteurs alpha à vie longue présents dans les poussières de minerai en suspension dans l'air et à l'ingestion du radium-226 et de l'uranium-238 présents dans les aliments consommés.

Ainsi quatre stations sont utilisés par chacune des 2 sociétés pour le contrôle radiologique de l'environnement. Le public exposé est divisé en 2 catégories : groupe 1 (G1), public vivant dans les

cités minières (ZU), et groupe 2 (G2), public vivant dans l'environnement proche des installations, entre la cité minière et la zone industrielle pour chacune des sociétés.

Le tableau 3 ci-dessous nous indique l'ensemble des points de contrôle radiologique de l'environnement pour les deux sociétés. En plus de ce contrôle les sociétés procèdent aux prélèvements et à l'analyse des sols le long des radiales passant par leur zone d'exploitation.

Tableau 3. **Stations de contrôle radiologique des zones d'exploitation**

Station de contrôle	Type de public contrôlé	Localisation	
		Somaïr	Cominak
ZI	–	Usine Somaïr	Akouta
ZU	G1	Arlit	Akokan
Deux stations situées entre ZI et ZU	G2	Puits 214 et REG	Akouta-Est camp de base
Prélèvement de légumes et terres	G1 et G2	Amidar	Jardin Akokan
Prélèvement des eaux	G1 et G2	Alimentation d'eau d'Arlit	Alimentation d'eau Akokan

Les graphes 1 et 2 donnent l'évolution des niveaux mesurés en ce qui concerne les actions du radon-226 et de l'uranium-238 pour les années 1982 à 1995.

Le traitement des cas graves

La réglementation exige des sociétés un rapport semestriel et un rapport annuel sur la situation radiologique des travailleurs et de l'environnement. Jusqu'ici la situation radiologique de l'environnement n'a pas été alarmante, cependant, on constate toujours quelques cas de dépassement des limites au niveau des travailleurs.

Le traitement de ces cas se fait par le changement de poste de travail pour les employés ayant atteint la limite de dose, l'intensification des moyens de lutte préventive pour faire baisser les effets aux postes les plus touchés, et la réduction du temps de séjour des travailleurs dans les zones à hauts risques.

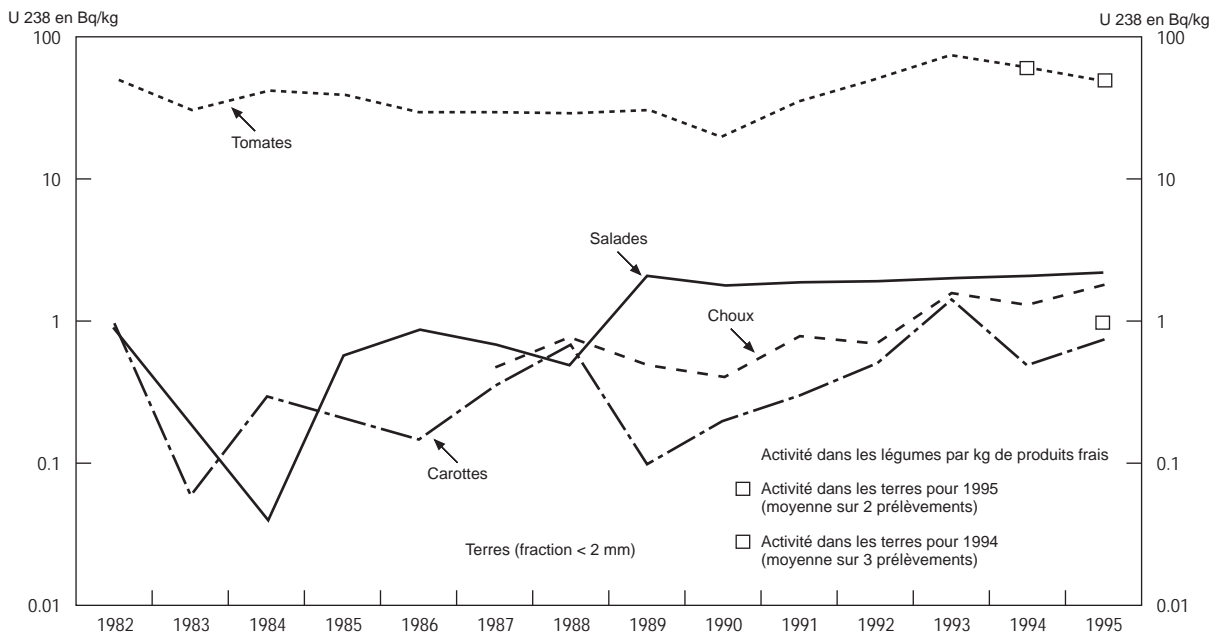
Action de l'administration

Pour le respect de la législation en matière des risques radiologiques, le Ministère des Mines et de l'Énergie a installé à Arlit (principale cité minière) un service des Mines doté d'un laboratoire de radioprotection et d'agents avertis des risques radiologiques. Ce service effectue des visites périodiques sur les sites de l'usine et de la Mine des deux sociétés et procède à ses propres prélèvements et contrôle de l'ambiance pour des fins de l'établissement de ses propres normes en matière d'irradiation et il donne des conseils aux employeurs afin que la protection radiologique soit la meilleure.

Figure 1.
SOMAIR (ARLIT – NIGER)
 Évolution des activités massiques en radium 226
 Dans les légumes



Figure 2.
COMINAK (AKOUTA – NIGER)
 Évolution des activités massiques en uranium 238
 Dans les légumes et terres du jardin d'Akokan



Afin d'avoir une idée de l'effet des exploitations d'uranium sur l'environnement, le service des mines d'Arlit va bientôt disposer de ses propres stations (au nombre de 2) de surveillance radiologique de l'environnement. Une première station qui sera installée à un point d'impact commun des deux sociétés donnera la pollution radiologique engendrée par les 2 sociétés ; une deuxième station sera installée à un point assez loin des zones d'opération des 2 sociétés pour permettre d'obtenir des données sur le niveau naturel de radioactivité.

Conclusion

Depuis leur création les sociétés d'exploitation des gisements d'uranium au Niger ont fait des efforts continus et importants pour assurer une très bonne protection radiologique de leurs employés. Quant à l'administration des mines, grâce à l'AIEA, elle s'est dotée de matériel et a amélioré ses compétences en matière de radioprotection.

Il faut signaler qu'un Centre National de Radioprotection verra bientôt le jour au Niger avec l'aide de l'AIEA, son siège sera installé à Niamey. Ce centre permettra certainement d'améliorer la surveillance radiologique notamment l'exploitation rapide des dosimètres et autres appareils de mesure d'irradiation ainsi que le contrôle de toutes les sources radioactives présentes au Niger.

• Ouzbékistan •

LOIS ET AUTORITÉS CHARGÉES DE LA RÉGLEMENTATION

Un projet de loi sur « la radioprotection de la population » est en cours d'élaboration en Ouzbékistan. Ce projet statue sur les infrastructures appropriées et les organismes publics compétents. Les organismes coordonneront et réglementeront les activités dans le domaine de la radioprotection et du traitement adéquat des déchets radioactifs.

La réglementation et la supervision de la sûreté radiologique de la population incombent :

- au Comité d'État de l'Ouzbékistan pour la protection de la nature, qui coordonne avec d'autres autorités toutes les questions d'environnement d'intérêt national ;
- au Comité d'État de l'Ouzbékistan sur la sûreté industrielle et minière, qui supervise le Combinat minier et métallurgique de Navoï (CMMN) et étudie les incidences de l'extraction d'uranium ; et
- au Service sanitaire et écologique d'État du Ministère de la Santé, qui supervise la radioprotection du personnel du CMMN.

Ces organismes chargés de la réglementation contrôlent les activités menées dans le pays, pour s'assurer que les règlements et les normes relatifs à la sûreté radiologique sont respectés.

L'entreprise géologique d'État « Kyzyltepa Geology » travaille avec des experts scientifiques et techniques dans les domaines de l'environnement, de la géologie et de l'hydrologie. Les pouvoirs publics demandent souvent aux experts de Kyzyltepa Geology de conduire des campagnes indépendantes de vérification et de surveillance.

Production d'uranium au Combinat minier et métallurgique de Navoï (CMMN)

Le Combinat minier et métallurgique de Navoï (CMMN) a l'exclusivité de l'extraction et du traitement de l'uranium en Ouzbékistan. Cette entreprise fait partie du holding d'État « Kyzylkumredmetzolo ». Aujourd'hui, l'extraction de l'uranium ne se fait plus que par lixiviation in situ (LIS) dans tous les gisements. Néanmoins, jusqu'à une date récente, l'uranium était extrait dans des mines à ciel ouvert et souterraines et traité selon un procédé classique.

Des branches opérationnelles du CMMN sont chargées de la radioprotection de la population qui vit dans les zones minières et de la protection de l'environnement.

Les activités du CMMN relatives à l'uranium sont structurées comme suit :

- l'usine hydrométallurgique n°1 (GMZ-1), qui traite le minerai d'uranium et les résidus connexes, située près de la ville de Navoï ; et
- les entreprises minières (Division minière du Nord, Outchkoudouk ; Division minière de l'Est, Zarafchan; Division minière du Sud, Nourabad ; Division minière n°2 à Krasnogorsk).

L'usine GMZ-1 produit des concentrés d'uranium à partir de minerais et de solutions préconcentrées obtenues par LIS, provenant entre autres des gisements d'Outchkoudouk, de Sabirsai et de Sougraly.

Bassin de décantation et gestion des déchets

Les déchets du traitement des minerais d'uranium sont déposés dans le bassin de décantation situé à 5 km à l'ouest de l'usine GMZ-1.

Le bassin de décantation, qui contient les résidus de traitement d'un minerai extrait auparavant de mines souterraines ou à ciel ouvert, est la zone du CMMN où les contraintes écologiques sont les plus fortes, de par sa taille et sa localisation dans la vallée très peuplée du cours d'eau Zarafchan.

Les résidus sont entreposés sur 600 hectares. Le barrage mesure 15 m de haut. Le bassin de décantation est utilisé depuis 1964. Aujourd'hui, le bassin contient 59,7 millions de tonnes de déchets de la production. L'activité totale des résidus s'élève à environ 160×10^3 curies. Les quantités de résidus et les rayonnements correspondant sont présentés dans le tableau ci-après.

Zones des résidus	DEM de rayonnement gamma microröntgen/h	Activité alpha spécifique (kBq/kg)	Concentration de radon et de DPR dans l'atmosphère proche de la terre, (Bq/m ³)	Concentration de nucléides alpha à longue vie (curie/l)
Superficie déjà cartographiée	300-1 200	80	6,0-33	1 x 10 ⁻¹⁵
		8,0-190		
Aire des bassins de décantation	100-500	–	–	–
Zone gardée (100-110 mètres)	100-150	19	5,0-30	0,25 x 10 ⁻¹⁵
		1,8-39		
Zone de protection sanitaire (800 mètres)	13-30	37	–	0,2 x 10 ⁻¹⁵
		1,1-6,0		
Zone d'observation	13-18	0,37	4-13	0,14 x 10 ⁻¹⁵
		0,15-1,0	DKB-37	DKB-0,33 x 10 ⁻¹⁵

Les mesures suivantes ont été prises pour atténuer les contraintes exercées sur l'environnement dans la zone du bassin de retenue des résidus de l'usine GMZ-1 :

- Un dispositif de drainage (écran) fonctionne. Il se compose de 24 puits de pompage destinés à intercepter les eaux souterraines qui s'écoulent du bassin de décantation vers le cours d'eau Zarafchan. Ce dispositif est conçu pour récupérer les solutions contenant des radionucléides qui percolent à travers le bassin de décantation, avant de les renvoyer vers l'usine hydrométallurgique.
- Les eaux souterraines sont surveillées régulièrement aux alentours des résidus à l'aide de 108 piézomètres.
- 38 habitations ont été construites afin de reloger les familles du village de Turkman. L'extension du bassin de décantation a été aménagée à l'intérieur de la zone de protection sanitaire.

Les principales mesures prises pour réduire la pression sur l'environnement dans les sites miniers du CMMN sont les suivantes :

- *Division minière du Nord.* Collecte d'une première série de données afin d'élaborer des projets visant la fermeture puis la restauration du couvert végétal des sites miniers qui ne sont plus utilisés. Un organisme spécialisé a commencé à démanteler et à fermer les installations.
- *Division minière de l'Est.* Restauration du couvert végétal (par des moyens techniques) des aires affectées à la lixiviation in situ. Le sol contaminé par des radionucléides sur une superficie de 61 000 m² a été enlevé et redéposé dans la décharge de déchets de la Mine n°2. Il est prévu d'enfouir ce sol dans le site d'évacuation des déchets radioactifs de la Division minière de l'Est, qui devrait être construit en 1997.

- *Division minière n°5.* Une étude sanitaire fondée sur des données radiométriques a été réalisée. On rassemble une première série de données en vue de liquider 19 des 36 aires affectées à la lixiviation in situ et de restaurer leur couvert végétal par des moyens techniques. Le programme technique de construction du PZRO est au point.
- *Division minière du Sud.* Les stériles de la mine M1 du gisement de Sabirsaï (100 000 m³), dont la teneur en uranium est trop faible pour justifier une exploitation commerciale, sont stockés dans la « carrière » du PZRO. Le site d'évacuation des déchets du minerai a été complètement replanté. Le sol contaminé sur le site UL-1 du gisement de Sabirsaï a été enlevé et déposé dans la « carrière » du PZRO. Cinquante hectares de terres ont été restitués aux autorités locales. Le PZRO a été construit sur le site UL-4 « Gundjak » du gisement « Ketmenchi ».
- *Division minière n°2.* Des organisations spécialisées ont effectué des recherches géotechniques afin d'estimer la stabilité de la pente de la verse à stériles, dont la teneur en uranium est trop faible pour justifier une exploitation commerciale, et qui se trouve à proximité du village de Krasnogorsk. Les résultats des recherches montrent qu'il ne sera pas nécessaire de retirer entièrement la verse où les stériles ont été déchargés.

Situation radiologique des usines et installations du CMMN liées à l'extraction

Zone et nom	Méthode de production			Pollution totale	
	Extraction	Lixiviation in situ		Superficie polluée (milliers de km ²)	Volume de sol pollué (milliers de km ²)
	Superficie (milliers de km ²)	Superficie (milliers de km ²)	Volume (milliers de km ²)		
Division minière du Nord. Gisement Outchkoudouk	347,2	1 448	569	2 112,2	2 017
Division minière de l'Est. Gisement Sougraly	1 060	956,6	13,4	1 121	970
Division minière n° 5. Gisements Bechkak, Boukinaï-Nord et Boukinaï-Sud	–	–	1 923	1 740	1 923
Division minière du Sud. Gisements Sabirsaï et Ketmenchi	500	253,4	377,8	1 800	631,2
Division minière n° 2. Gisement Chauili	770	–			770

Dans le passé, le Combinat minier et chimique de Leninabad (CMCL), établi à Leninabad au Tadjikistan, a extrait de l'uranium sur certains sites d'Ouzbékistan. Six de ces sites comportent des installations et des terrains connexes qui devront être fermés et/ou replantés. Des informations ont été obtenues sur certains de ces sites (Alatanga, Kattasai Djeindek) dont la décontamination et la restauration du couvert végétal sont prévues.

Il existe en outre, dans certaines régions frontalières du Tadjikistan et du Kirghizistan, des installations et des sites miniers hors service contaminés par des déchets radioactifs. La perturbation

de ces sites risquerait d'affecter l'Ouzbékistan (résidus dans le village de Gafurov, décharges de déchets et résidus à Mailuu-Suu). Un vaste programme est en cours pour dépolluer les sites et prévenir le risque de contamination radioactive de certaines parties du Kirghizistan et des régions limitrophes situées en Ouzbékistan. Des mesures sont prises afin d'assurer la protection radiologique de l'environnement. Il faudra commencer par donner aux scientifiques du matériel très sensibles pour circonscrire les zones contenant des déchets contaminés.

Considérations relatives à l'environnement

Les activités de production d'uranium menées par le CMMN depuis plus de trente ans ont eu des incidences sur l'environnement naturel en Ouzbékistan. Aussi bien les zones où l'extraction et le traitement des minerais d'uranium ont été effectués par des techniques classiques que celles où ont fonctionné des installations de lixiviation in situ ont été affectées. En plus des zones directement touchées par ces activités, 2,42 millions de m³ de minerai uranifère non rentable ont été accumulés en surface. Ce minerai est pauvre en uranium – teneur comprise entre 0,002 et 0,005%. Il faut ajouter 60 millions de tonnes de résidus stockés près de l'usine hydrométallurgique n°1 de Navoi. Les incidences de la LIS sur les eaux souterraines se font sentir sur 13 millions de km². Les matériaux contaminés par ces opérations et entreposés en surface forment un volume de 3,5 millions de m³.

Afin d'évaluer pleinement l'étendue de la contamination et de mettre sur pied un programme de revalorisation et de réaménagement, le CMMN collabore avec les meilleurs experts ouzbeks et des spécialistes de la Communauté des États indépendants, ainsi qu'avec des organisations internationales.

Le CMMN a élaboré une politique de l'environnement applicable à ses activités de production d'uranium qui consiste à :

- assurer la sûreté écologique de toutes les installations du CMMN, par l'emploi de la méthode de lixiviation in situ la moins polluante et la plus respectueuse de l'environnement ;
- fermer les entreprises d'extraction minière et de traitement qui sont moins performantes sur le plan économique et environnemental ;
- isoler et évacuer de façon appropriée tous les déchets radioactifs accumulés ; et
- réaménager les terrains perturbés par les activités de l'entreprise se rapportant à l'uranium.

Afin de réaliser ces objectifs, le CMMN a conçu et mis en œuvre un programme progressif d'évaluation et, si nécessaire, de réaménagement des zones susceptibles d'avoir été affectées par plus de 30 années d'activités de production d'uranium.

À l'usine hydrométallurgique de Navoi, on a installé un système de puits en vue de surveiller et de corriger la contamination éventuelle de la nappe aquifère par le bassin de décantation. Les eaux récupérées sont renvoyées à l'usine et réintroduites dans le circuit du traitement. Une étude est en cours en vue d'obtenir les données nécessaires pour sélectionner et mettre en place un système de couverture du bassin de décantation. La première étape consiste à décontaminer et réaménager tous les terrains rendus radioactifs autour du bassin de retenue et sur le trajet de la canalisation reliant l'usine au bassin. Il est aussi projeté de recouvrir le site occupé par les résidus entre 2000 et 2005.

Questions d'environnement soulevées par les sites d'extraction par lixiviation in situ

La répartition de la contamination radioactive à la surface des sites d'extraction par LIS a été étudiée. Il s'avère que la contamination est cantonnée à la surface ou juste en dessous. Même sur les sites où des quantités importantes de produits radioactifs ont été déversés accidentellement, la contamination retrouve sa valeur de fond à une profondeur de 30 à 40 cm, à cause de la capacité sorbante et neutralisante élevée des horizons supérieurs du sol.

C'est l'aquifère qui renferme le corps minéralisé qui subit le plus fortement les incidences de la LIS. Le degré de contamination de l'aquifère dépend essentiellement de la technique de LIS mise en jeu et des types de réactifs et d'agents oxydants employés.

Par rapport aux valeurs relevées avant l'extraction, la lixiviation à l'acide sulfurique multiplie par un facteur de 5 à 15 la quantité totale de solides dissous dans l'horizon aquifère abritant le gisement. Ce changement s'accompagne d'une diminution du pH qui passe de 7 à 1,5. L'accroissement substantiel de la teneur en minéraux dans l'eau de l'aquifère est principalement dû à l'accumulation d'ions sulfate dans la solution de lixiviation. La distance de migration de la solution de lixiviation qui véhicule une grande quantité de solides dissous, le long du gradient d'écoulement, ne dépasse pas 150 à 200 m au-delà de la limite du corps minéralisé. Lorsque le pH dépasse 6, cette distance est ramenée à moins de 60 m.

Si l'extraction par LIS est réalisée sans bicarbonate ni réactifs, le pH, la teneur totale en minéraux, la composition chimique et les concentrations des principaux composants de l'eau ne sont pratiquement pas modifiées par rapport à leurs valeurs initiales. Ce phénomène s'observe également à l'intérieur de la zone d'extraction et s'applique tant pendant qu'après la lixiviation.

Les données recueillies à partir des puits de surveillance forés dans des aquifères productifs adjacents aux périmètres de LIS montrent que dans toutes les zones minières exploitées par le CMMN, quelle que soit la technique utilisée, les caractéristiques géochimiques naturelles de l'eau ne sont pas modifiées au-delà d'une distance de 200 à 300 m des limites du gisement. La surveillance des nappes situées au-dessus et en dessous des aquifères productifs indique que leur état naturel n'a pas subi de changements significatifs.

Dans leur état naturel, avant la LIS, les aquifères situés dans les horizons exploités par le CMMN étaient considérés comme impropres à l'agriculture et à l'élevage en raison d'une teneur en sel trop élevée. Cela étant, la principale méthode pour décontaminer un aquifère traité par LIS consiste à laisser s'opérer l'atténuation naturelle des solutions résiduelles à la faveur de leur migration entraînée par la circulation des eaux souterraines.

Radioprotection

Les programmes de surveillance et de sûreté radiologiques du CMMN sont menés à bien par des services qui contrôlent les conditions de travail et surveillent l'environnement, ainsi que par les laboratoires d'hygiène industrielle du CMMN, les agences régionales et nationales d'inspection sanitaire, le Comité national d'environnement et le Comité technique national des mines. En outre, plusieurs instituts scientifiques spécialisés participent à des études radiologiques dans les exploitations existantes, à des recherches sur la situation avant et après la remise en état, ainsi que sur des questions touchant à la méthodologie et à la pratique d'exploitation.

D'après les résultats de la surveillance radiologique conduite dans les installations d'extraction et de traitement de l'uranium du CMMN, l'équivalent de dose moyenne annuelle efficace reçu par le groupe critique de la population qui vit dans ces régions n'excède pas 1 mSv/an, en additionnant tous les facteurs de risque associés aux rayonnements. Cette valeur se trouve dans les nouvelles limites fondamentales fixées par la Commission internationale de protection radiologique (CIPR) pour la population. La longue expérience du CMMN en matière de LIS confirme que cette technologie est tout à la fois très efficace et respectueuse de l'environnement quand elle est appliquée correctement dans un environnement approprié. Cela devrait élargir le champ d'utilisation de l'extraction par LIS.

• Portugal •

Le Portugal produit de l'uranium depuis 1951, principalement à Urgeirica. *L'Empresa Nacional de Uranio S.A.*, (ENU), continue de mesurer plusieurs paramètres liés à l'environnement, tels que la qualité de l'air, les effluents miniers (eaux d'exhaure des mines souterraines et eaux de drainage superficielles) et de collecter des données sur le sol, les sédiments et la végétation en vue d'analyses complémentaires concernant les mines d'Urgeirica, de Castelejo et de Cunha Baixa, qui sont en cours de démantèlement.

Chaque mine est équipée de puits et de piézomètres. Les eaux de drainage souterraines et superficielles sont analysées au niveau de plusieurs postes de surveillance implantés à l'amont et l'aval de chacun des cours d'eau se trouvant à proximité des mines.

Les eaux souterraines sont surveillées sur une distance de 300 à 400 mètres au-delà du périmètre du bassin de retenue des résidus de l'usine d'Urgeirica et les eaux rejetées sont surveillées à une distance de 3 km en aval.

Dans le domaine de la radioprotection, plusieurs analyses sont en cours pour déceler toute trace de radioélément dans l'eau.

Plusieurs études sont entreprises pour caractériser les aspects géochimiques et hydrochimiques et déterminer les effets que les amas de déchets de la mine de Cunha Baixa (mine déclassée) et de la mine de Quinta do Bispo (lixiviation en tas) ont pu avoir sur l'environnement. Des travaux en cours visent également à établir quelles mesures d'atténuation pourraient s'avérer nécessaires pour remédier à d'éventuelles incidences négatives. Aussi prélève-t-on des échantillons d'alluvions et de sédiments en amont et en aval de chaque cours d'eau à proximité du site.

• République tchèque •

INTRODUCTION

La DIAMO est la seule entreprise minière qui extrait et traite l'uranium en République tchèque. Propriété de l'État à 100%, elle est gérée par le Ministère de l'Industrie et du Commerce de la République tchèque. Actuellement, le programme de la DIAMO vise essentiellement à poursuivre la production d'uranium à un rythme décroissant ainsi qu'à démanteler et réaménager les sites de production de l'uranium.

Incidences sur l'environnement des activités d'extraction et de traitement conduites par la DIAMO

Les répercussions sur l'environnement du rejet des eaux d'exhaure et des eaux résiduaires et de la gestion des déchets

La surveillance de l'état de l'environnement dans les régions où la DIAMO exerce des activités est régie par un programme approuvé par l'administration de l'inspection nationale. Les résultats du programme de surveillance sont communiqués régulièrement aux autorités nationales.

Émissions dans l'atmosphère

Dans l'atmosphère, seules les émissions des chaudières sont surveillées. À l'exception du centre de production d'uranium de Dolní Rozínka, toutes les émissions des installations techniques sont d'un niveau très faible, dépassant à peine le seuil de détection. Les valeurs de l'ammoniac sont un peu plus élevées à Dolní Rozínka.

Rejet d'eaux d'exhaure et d'eaux résiduaires

La quantité totale d'eau libérée dans les régions critiques (Stráz, Dolní Rozínka, Příbram) est surveillée en continu.

Gestion des déchets

En 1995, la gestion des déchets était conforme aux programmes approuvés. La poursuite des activités de démantèlement a entraîné une augmentation de la production de déchets dans les catégories Z et N (déchets contaminés par des radionucléides). Le volume des autres déchets générés commence à être affecté par la transition vers le régime de démantèlement.

Répercussions de l'extraction chimique d'uranium sur l'eau souterraine dans le gisement de Stráz

En Bohême septentrionale, la DIAMO concentre ses activités minières dans l'est du district de Česká Lípa, près de Hamr n. Jezere et de Stráz pod Ralskem. À la fin des années 60, on s'est employé à appliquer deux méthodes d'extraction en parallèle sur ce site : l'extraction en profondeur classique et la technique de la lixiviation *in situ* de la couche minéralisée souterraine (extraction chimique). L'extraction chimique *in situ* dissout l'uranium à l'aide d'acide sulfurique (2 à 5%) en cycle fermé. La solution acide était introduite directement dans la couche minéralisée à travers un réseau de puits technologiques.

Les méthodes d'extraction d'uranium pratiquées dans le passé en Bohême septentrionale se sont révélées impropres. En raison de l'application intensive de la méthode classique et de la technique d'extraction *in situ* sur une superficie relativement petite, les effets néfastes de ces deux méthodes se sont renforcés mutuellement. De surcroît, ce phénomène n'a pas donné lieu à l'application de mesures et de technologies propres à réduire au minimum les impacts de l'extraction sur l'environnement.

L'extraction par lixiviation *in situ* a été employée à grande échelle pendant plus de 20 ans sur une superficie dépassant 600 hectares. Cette stratégie s'est soldée par la contamination de 186 millions de m³ d'eaux souterraines, sur une superficie de 24 km². Une partie de la zone contaminée déborde les limites des champs d'épandage.

Aperçu de la contamination du complexe cénomanien (minéralisé)

Le volume contaminé (186 millions de m³) s'étend sur une superficie approximative de 24 km².

Polluants principaux	
SO ₄ ²⁻	3 792 x 10 ³ t
H ₂ SO ₄ (partie dissociée)	984,2 x 10 ³ t
NH ₄ ⁺	91,4 x 10 ³ t
Al	413,0 x 10 ³ t
U	~1,0 x 10 ³ t
Total des solides dissous	4,8 x 10 ³ t

Aperçu de la contamination de l'horizon turonien

Les quelque 80 millions de m³ d'eau contaminée couvrent 7,5 km².

Polluants principaux	
SO ₄ ²⁻	22,0 x 10 ³ t
NH ₄ ⁺	1,3 x 10 ³ t
Total des solides dissous	25-30 x 10 ³ t

Les horizons minéralisés et les zones de lixiviation active se situent en dessous de l'horizon turonien supérieur, qui renferme une grande quantité d'eau potable. L'extraction par lixiviation *in situ*

par voie acide combinée à un couvage insuffisant des puits technologiques et peut-être aussi à un manque de rigueur technologique a entraîné la contamination secondaire de l'aquifère turonien sus-jacent.

Objectif de l'action correctrice

De vastes programmes d'exploration et d'évaluation ont été conduits de 1992 à 1994 dans la zone de Stráz. L'ampleur et l'orientation de ces travaux ont été fixées par la Décision du gouvernement tchèque n°366 du 20 mai 1992. Différents modèles de remise en état de ce gisement ont été conçus en fonction des résultats de ces travaux, de même que la Décision du gouvernement tchèque n°170 du 6 mars 1996, qui disposait que l'extraction d'uranium par voie chimique soit remplacée par un régime correctif. Ce dernier est alors entré dans sa phase préparatoire. On a construit une unité d'évaporation capable de faciliter la libération de 6 m³/minute d'eau purifiée dans le cours d'eau superficiel. Ce traitement sert à stabiliser l'étendue spatiale de la contamination. La correction proprement dite consistera à extraire les sels solubles du gisement dans des installations qui devraient être construites à cette fin. En attendant, il faudra réintroduire les solutions concentrées recueillies dans l'unité d'évaporation au centre du gisement.

L'action correctrice menée dans le gisement à la suite de l'extraction par lixiviation in situ vise à :

- Diminuer progressivement la teneur en solides dissous dans l'aquifère cénomanien jusqu'à une valeur qui limitera le risque de porter atteinte à l'aquifère turonien sus-jacent, qui abrite une réserve substantielle d'eau potable ;
- Diminuer progressivement la concentration des différents solides dissous dans l'aquifère turonien jusqu'aux valeurs correspondant à une eau de qualité potable selon la norme tchèque CSN 75 7111 ; et
- Intégrer progressivement les terrains situés en surface au-dessus des champs d'épandage dans des systèmes régionaux de stabilité écologique.

Bassins de décantation et décharges de stériles

Le bassin de décantation de l'entreprise d'État CHÚ représente l'un des problèmes les plus complexes auxquels est confrontée la DIAMO. Il se pose sur le plan de l'exploitation ainsi que de la fermeture des bassins et de la restauration de leur couvert végétal. Les principaux défis à relever sont énumérés ci-dessous :

- « déséquilibre » ou excès d'eau, et recherche de la technologie optimale d'épuration de l'eau ;
- épuration de l'eau d'infiltration ;
- conception et construction d'une couverture pour le bassin de décantation ; et
- intégration de la zone replantée dans le paysage environnant.

L'assainissement des décharges de stériles provenant de l'extraction de minerai dans des mines souterraines classiques sera mené à bien par les actions suivantes :

- Récupération des stériles pour la remise en état des bassins de décantation en vue de leur démantèlement et affectation de la zone à d'autres activités.

- Restauration du couvert végétal des verses à stériles et intégration de celles-ci dans l'environnement naturel.

Le tableau suivant donne un aperçu des bassins de décantation et des verses à stériles gérés par la DIAMO.

Lieu	Début de l'exploitation	Fin de l'exploitation	Superficie totale (hectares)	Volume de matériaux déposés (10 ³ m ³)
Site minier de Stráz				
Stráz p.R. – 1 ^{ère} phase	1980	1992	93,5	9 236,4
Stráz p.R. – 2 ^{ème} phase	1991	1992	93,5	800,0
TOTAL			187	10 036,4
Site minier de Příbram				
Dubno, KI	1988		33,0	86,8
Dubno, KII	1980	1988	11,1	152,5
TOTAL			44,1	239,3
Site minier de Jáchymov				
Jáchymov - Nejdek			9,6	1 440,0
Jáchymov - Elías			10,5	1 358,0
TOTAL			20,1	2 798,0
Site minier de Rožná				
Rožná, K-I	1968		62,75	8 836,7
Rožná, K-II Zlatkov	1980		27,45	990,8
TOTAL			90,20	9 827,5
Mydlovary (Mape), aire de stockage des résidus				
K-I	1962	1984	24,40	5 551,0
K-II	1967	1981	76,62	10,3
K-II	1980	1985	33,74	4 354,0
K-IV/CIZ	1988	1989	35,71	403,0
K-IV/C2	1985	1988	31,92	1 708,0
K-IV/D	1985	1991	35,76	661,0
K-IV/R	1984	1991	31,02	950,0
K-IV/CF			23,35	0
TOTAL			293,52	13 637,3

Principales activités de démantèlement et de réaménagement conduites par la DIAMO

Depuis la suspension de l'exploitation de l'uranium en République Tchèque, toutes les filiales sont tenues de dépolluer les résidus du traitement de ce minerai. Depuis 1993, toutes les mesures de réaménagement et de démantèlement sont financées à partir du budget de l'État tchèque.

Les mesures de réaménagement et de démantèlement sont administrées depuis le siège de la DIAMO qui veille à obtenir le financement nécessaire à partir du budget national. Les activités de

réaménagement et de démantèlement sont menées par la filiale de la DIAMO responsable du site sur lequel l'usine est implantée.

Les opérations de réaménagement et de démantèlement en cours sont récapitulées ci-après :

Dans la région relevant de la filiale Tůu Stráz, pod Ralskem

Démantèlement de la mine de Hamr

Le projet de démantèlement de la mine de Hamr qui prévoyait le remblayage des sites souterrains a été approuvé. Le volume remblayé annuel s'élève à quelque 105 m³. Le remblayage s'achèvera en 2001.

Démantèlement de l'usine de traitement chimique de Stráz

Le démantèlement du matériel technologique est en cours et les bâtiments de l'usine chimique de Stráz seront décontaminés. On propose de permettre l'affectation des bâtiments décontaminés à d'autres usages.

Réaménagement des bassins de décantation de Stráz

La conception technique du réaménagement des bassins de Stráz est terminée. On commencera par éliminer l'eau libre, avant de transférer les résidus du bassin de décantation de la phase II ainsi que les matériaux contaminés du barrage, dans le bassin de la phase I.

Dans la région relevant de la filiale Cht Stráz, pod Ralskem

Depuis le 1er mai 1996, l'assainissement du champ d'épandage du puits de Stráz, exploité par LIS, est entré dans sa phase préparatoire. Celle-ci requiert l'évaporation de quelque 6,5 m³ de solutions par minute et le rejet d'environ 6 m³ par minute de distillat dans le cours d'eau superficiel. L'unité d'évaporation est entrée en service le 1er octobre 1996. Un autre projet important consistera à colmater les trous des anciens forages de prospection. Cette mesure est destinée à éviter que des solutions de lixiviation n'émigrent vers l'aquifère turonien sus-jacent à partir de la zone de lixiviation en empruntant les anciens puits.

Dans la région relevant de la filiale Geam à Dolní Rozínka

Démantèlement de la mine d'Olsí

Les travaux en cours comprennent la restauration du couvert végétal des décharges et du site des installations ainsi que la poursuite du traitement des eaux d'exhaure, qui est indispensable car elles renferment des teneurs élevées en uranium, fer et manganèse.

Démantèlement de la mine de Jasenice-Pucov

La restauration du couvert végétal est achevée. Le traitement des eaux d'exhaure se poursuit sur ce site, comportant l'élimination de l'uranium et du radium.

Démantèlement de la mine de Licomerice-Brezinka

À l'heure actuelle, la restauration du couvert végétal est projetée. Le traitement des eaux d'exhaure continue, en vue de l'élimination de l'uranium, du radium, du fer et du manganèse. Une caractéristique de ce site est la poursuite de la lixiviation biologique de l'uranium dans les puits.

Dans la région relevant de la filiale SUL Příbram

La filiale SUL est chargée de conduire les activités de démantèlement et de réaménagement dans plusieurs régions : Příbram, la Bohême occidentale, Horní Slavkov, Jáchymov, Mydlovary (MAPE), et Okrouhlà Radoun. Elle administre aussi les sites de mines qui ont cessé d'être exploitées dans le passé : celles de la région de Jáchymov, du massif de Krkonoše, de Zálesí u Javorníka et d'autres. Dans ces zones, l'inspection des systèmes de surveillance et l'entretien des puits et des chantiers d'exploitation en surface ont lieu deux fois par an.

Les principales activités de réaménagement et de démantèlement sont décrites ci-dessous.

Réaménagement du bassin de décantation II à Bytíz Příbram

La restauration du couvert végétal du bassin de retenue II à Bytíz Příbram est terminée. Des dispositions techniques ont été appliquées au cours de celle-ci afin de réduire les débits de dose gamma à la surface du bassin et de prévenir la formation de poussières. La topographie de la surface a aussi été adaptée à la physionomie finale.

Traitement des eaux du bassin de retenue à Příbram

La remise en état du bassin de décantation n°1 à Příbram est entrée dans sa phase préparatoire, qui comporte une réduction du volume d'eau libre.

Restauration du couvert végétal sur la verse à stériles de Jeronym Abertamy dans la région de Jáchymov

La restauration du couvert végétal de la verse à stériles de Jeronym Abertamy a été perturbée par le prélèvement incontrôlé de roches stériles. Au départ, la verse avait été plantée en vue de permettre à la végétation naturelle de reprendre possession du site.

Restauration du couvert végétal à la mine II de Vítkov en Bohême occidentale

À la mine II de Vítkov, la restauration du couvert végétal a été menée à bien par des moyens techniques et aussi en partie par des moyens biologiques. Le traitement de l'eau se poursuit sur ce site.

Traitement des eaux d'exhaure à la mine de Zadní Chodov

Sur le site de Zadní Chodov, les eaux d'exhaure ont surgi accidentellement en dessous du point de déversement prévu. Il a donc fallu prendre des mesures immédiates pour empêcher la

contamination de l'eau superficielle par des radionucléides. La teneur en uranium dans les eaux d'exhaure s'élève à 15 à 20 mg/litre.

Restauration du couvert végétal et traitement des eaux d'exhaure sur le site de Okrouhlá Radoun

La restauration du couvert végétal de la décharge de stériles se poursuit à la mine d'Okrouhlá Radoun, de même que le pompage et le traitement des eaux d'exhaure pour en éliminer les radionucléides.

Construction d'une station d'épuration des eaux d'exhaure à Horní Slavkov

La DIAMO conduit l'un de ses projets de réaménagement les plus ambitieux à Horní Slavkov. Les eaux d'exhaure des puits abandonnés seront traitées. On procède actuellement à l'élimination des radionucléides, du fer, du manganèse et d'autres éléments présents dans l'eau, en vue de sa décontamination. La nécessité de construire cette station est apparue au vu de l'inventaire des dégradations passées.

Remise en culture des bassins de décantation de l'usine de MAPE à Mydlovary

La remise en culture des bassins de décantation de l'usine de MAPE à Mydlovary est le projet de réaménagement le plus complet de la DIAMO. Sa réalisation devrait s'étendre sur plusieurs décennies. Actuellement, la sélection du projet optimal du point de vue de la conception est à l'étude, parallèlement à l'évaluation de plusieurs options sur base de projets pilotes. Les eaux d'infiltration dans la zone des bassins de décantation sont traitées à un rythme de 6 à 7 m³ par heure.

Conclusion

L'extraction et le traitement des minerais d'uranium dans la République Tchèque a causé des dégâts considérables à l'environnement. L'atténuation de ces effets nécessitera des mesures réparatrices à long terme. Elle se poursuivra probablement bien au-delà de l'an 2000 et demandera des ressources financières considérables.

Aujourd'hui, parallèlement à la réduction constante de la production d'uranium, la remise en état et le démantèlement sont en passe de devenir les activités principales de la DIAMO.

La DIAMO est appuyée financièrement par le gouvernement de la République Tchèque. Elle est chargée de veiller à la qualité technique des mesures de réaménagement et de démantèlement et d'utiliser les fonds publics à bon escient.

L'une des manières de maximiser l'efficacité par rapport au coût des mesures de réaménagement et de démantèlement consiste à répondre à la norme ISO 9000 sur l'assurance qualité pour que les travaux de réaménagement soient validés par un certificat de qualité. Cette pratique s'inscrit également dans la perspective éventuelle d'introduire un système de gestion qui intègre les préoccupations d'environnement.

• Roumanie •

La Roumanie produit de l'uranium depuis 1952. Le pays exploite actuellement trois mines et une usine de traitement.

L'industrie roumaine de l'uranium a instauré un programme systématique de protection de l'environnement. Les sources potentielles d'incidences sur l'environnement liées aux activités de prospection, d'exploitation et de traitement de l'uranium sont les suivantes :

- les effluents issus de l'extraction minière et du traitement, qui contiennent des éléments radioactifs à des concentrations dépassant la limite maximale admissible ;
- les stériles provenant des activités minières ;
- le minerai à faible teneur en uranium (0,02 à 0,05%) qui n'est pas traité pour le moment, mais stocké sur le carreau de la mine ;
- les résidus des activités de traitement, qui sont entreposés dans des bassins de séchage à l'usine de Feldiora ; et
- les déchets de métaux et de bois contaminés par la radioactivité au cours de l'exploitation et du traitement des minéraux radioactifs.

Les installations et le matériel nécessaires pour prévenir la contamination de l'environnement comprennent :

- la construction et l'agrandissement des stations d'épuration d'eau afin de traiter les effluents sur les sites des gisements des Carpates orientales, des Monts Apuseni et des Monts du Banat ;
- l'augmentation de la capacité des bassins de décantation ;
- le traitement et la fermeture des zones de stockage du minerai dans diverses mines ; et
- la stabilisation à long terme, la remise en état et le réaménagement du couvert végétal des versants à stériles et des zones alentour.

Les activités suivantes sont prévues : remise en état de l'ensemble du parc de wagons de chemin de fer, installation d'un système de ventilation muni de filtres à l'usine de traitement et dans les postes d'expédition du minerai, et mise en place de systèmes de surveillance de l'environnement sur tous les sites et dans toutes les installations de production d'uranium.

• Slovénie •

La production de minerai à la mine d'uranium de Zirovski vrh a débuté en 1982. L'usine de traitement est entrée en service en 1984. En 1990, l'exploitation a été arrêtée et les installations ont été provisoirement mises en sommeil, une fois atteinte une production totale cumulée de 382 tonnes d'uranium. En 1992, la décision a été prise de fermer définitivement la mine et de procéder ultérieurement à son démantèlement. En 1994, le plan de démantèlement du centre a été approuvé par les autorités gouvernementales de la Slovénie.

Le plan de démantèlement du centre de production de Zirovski vrh prévoit les mesures suivantes :

- Protection permanente de la biosphère contre les conséquences de l'exploitation minière. Il s'agit notamment d'une protection permanente des couches superficielles contre les glissements et l'affaissement, du scellement des puits et des galeries pour empêcher la pénétration d'eau de ruissellement, et étanche à l'air, ainsi que de l'aménagement d'un passage pour assurer le libre écoulement des eaux d'exhaure.
- Réaménagement définitif du site de l'usine de traitement du minerai, de manière à permettre la réutilisation des installations subsistantes à d'autres fins industrielles.
- Réaménagement durable des zones occupées par les déblais miniers et les résidus de traitement. Il s'agit notamment d'empêcher l'infiltration d'eau de pluie et de prévenir l'érosion ; d'autres mesures sont prévues afin d'empêcher la dissolution et le transport de produits chimiques dangereux vers les eaux souterraines et superficielles, et pour maîtriser la contamination par le radon.

La remise en état de la mine de Zirovski vrh demandera 2 à 3 ans.

• Suède •

Études du cycle de vie de la production d'électricité

En Suède, Vattenfall a étudié le cycle de vie de la production d'électricité à partir de différentes sources d'énergie : hydroélectrique, nucléaire, centrales à condensation alimentées au fioul, turbines à gaz, centrales électrocalogènes à partir de biocombustibles, cycle combinant l'énergie éolienne et le gaz naturel.

Les études englobent l'édification des centrales électriques et la fabrication des matériaux de construction (comme l'acier, le cuivre, l'aluminium, le plomb, le béton, etc.), la production et le raffinage du combustible, l'exploitation des centrales, les nouveaux investissements, la modernisation

et le déclassement. Toutes les émissions sont additionnées et consignées dans le rapport, qu'elles soient de portée locale, régionale ou mondiale.

Dans le cas de l'énergie nucléaire, les émissions imputables à l'extraction, la conversion et l'enrichissement de l'uranium, la fabrication du combustible, ainsi qu'au traitement du combustible irradié et du stockage final ont été additionnées aux émissions provenant de la construction et du déclassement des centrales nucléaires.

De nombreuses incidences sur l'environnement ont été étudiées, notamment en relation avec les émissions de dioxyde de carbone, de dioxyde de soufre et d'oxydes d'azote, la radioactivité, les consommations d'énergie, l'emprise au sol, la biodiversité, etc.

Ces études du cycle de vie ont montré, entre autres, que les émissions de dioxyde de carbone, de dioxyde de soufre et d'oxydes d'azote sont très faibles pour trois procédés de production d'électricité : l'énergie hydroélectrique, l'énergie nucléaire (y compris le cycle du combustible) et l'énergie éolienne. Par contre, toutes ces émissions accusent des valeurs élevées dans le cas centrales à condensation alimentées au fioul et des turbines à gaz. Le gaz naturel engendre des émissions de dioxyde de carbone et d'oxydes d'azote importantes, tandis que les installations génératrices mixtes (électricité et chaleur) à partir de biocombustibles rejettent des quantités relativement élevées de dioxyde de soufre et d'oxydes d'azote.

Réaménagement de la mine d'uranium de Ranstad (Suède) après sa fermeture

La mine d'uranium de Ranstad a été mise en service dans le cadre du programme suédois d'énergie nucléaire. L'uranium était extrait suivant un procédé de lixiviation de schistes alumineux par percolation d'acide sulfurique. Le schiste a une teneur approximative en uranium de 300 g/t et renferme également quelque 22% de matière organique et environ 15% de pyrite. L'usine a été exploitée de 1965 à 1969. Durant cette période, 1,5 millions de tonnes de schistes alumineux extraites d'une mine à ciel ouvert ont produit 215 tonnes d'uranium. La quantité totale de résidus occupe un volume d'environ un million de mètres cubes, contenant une centaine de tonnes d'uranium et 5×10^{12} Bq de radium-226. Les résidus couvrent une superficie de 250 000 m². La mine à ciel ouvert consistait en une fosse de 2 000 m de long sur 100-200 m de large et 15 m de profondeur.

Les discussions au sujet du réaménagement final ont commencé à l'expiration du permis d'exploitation de l'usine de Ranstad en 1984. À l'époque, les résidus du traitement étaient recouverts d'une couche de 0,5 m d'épaisseur de moraine. Le lixiviat des résidus était intercepté et épuré avant d'être rejeté dans le cours d'eau Fljan. Cette opération n'avait pas d'incidences sensibles sur l'environnement, mais le pompage et le traitement continu du lixiviat étaient onéreux. Il a donc fallu préparer un plan de réaménagement définitif. La mine à ciel ouvert a été maintenue à sec jusqu'en novembre 1991, date à laquelle on a cessé le pompage.

Studsvik AB était responsable de la préparation du projet, de l'engagement de sous-traitants, de la bonne fin du réaménagement et de la surveillance de l'environnement. Depuis 1992, le réaménagement est sous la responsabilité de AB SVAFO, qui appartient à l'industrie nucléaire suédoise.

Objectifs

Le réaménagement du site de Ranstad a été conçu de telle façon qu'il ne requière plus aucun entretien. Il est prévu qu'une fois le réaménagement terminé, le site répondra aux prescriptions de la législation sur l'environnement, sans qu'aucune intervention supplémentaire ne soit nécessaire.

Réaménagement

Durant les années 70 et 80, des recherches ont été menées afin de dégager des moyens efficaces de maîtriser et réduire la lixiviation. Il s'agissait de trouver des méthodes pour freiner l'infiltration d'humidité provenant des précipitations et empêcher l'oxygène de pénétrer dans les résidus. L'une des activités entreprises pour étudier le problème a été la construction en 1972 d'un tas expérimental composé de 15 000 tonnes de résidus de traitement, afin de tester l'efficacité de différents systèmes de couverture. La planification générale du réaménagement a débuté en 1985, notamment par la collecte des informations disponibles et une campagne cartographique (géologie, hydrologie et qualité de l'eau). Un plan de réaménagement détaillé a été soumis à l'administration du Comté en octobre 1988. Après l'avoir examiné, les autorités ont autorisé le lancement du projet en janvier 1990. Elles ont demandé la réalisation d'un programme de contrôle des concentrations d'uranium, de radium et de métaux lourds (par exemple : cadmium, cuivre et nickel) aux points de rejet et de réception.

Résidus du traitement

La mise en place d'une couverture imperméable autour des résidus de la lixiviation et d'autres résidus de traitement a représenté l'étape la plus compliquée du réaménagement, car l'administration du Comté exigeait que la conductivité hydraulique de la couverture soit inférieure à 5×10^{-9} m/s. Il a fallu aussi tenir compte de facteurs tels que la disponibilité des matériaux, la stabilité à long terme et l'expérience relative à l'utilisation des matériaux dans la conception du système de couverture. La couverture de résidus finalement choisie se compose de 0 à 0,3 m de moraines présentes dans la couverture déjà installée, surmontées dans l'ordre par un mélange argile-moraines (0,2 m), du calcaire broyé (0,2 m), des moraines (1,2 m) et un mélange moraines-sol (0,2 m) en surface. Les moraines constituent un matériau naturel fiable qui a été mis à profit dans la construction de nombreux barrages de centrales hydroélectriques en Suède. Sur le site d'évacuation de Ranstad, on a trouvé une quantité suffisante (environ 50 000 m³) d'un type de moraine particulièrement approprié, contenant une fraction de particules fines de schiste argileux. Ce matériau possède la faible perméabilité voulue, sans qu'il soit nécessaire d'ajouter et de mélanger de la bentonite. Une part substantielle des moraines employées dans la construction de la couverture ont été récupérées dans l'aire d'évacuation et la mine à ciel ouvert.

La qualité de la couche de scellement a été strictement contrôlée par des vérifications en laboratoire et sur le terrain de facteurs tels que la teneur en eau, la fraction de particules fines et le compactage. La couverture devait être répandue sur quelque 250 000 m². Les essais ayant confirmé la qualité de la première couche, une couche de calcaire pour le drainage puis une couche protectrice de moraines ont été déposées. L'efficacité du système de couverture est contrôlée à partir de nombreux puits d'observation qui servent à surveiller le niveau de la nappe phréatique au-dessus de la couche inférieure imperméable. Des lysimètres ont été placés en dessous de la couche inférieure imperméable pour surveiller la diffusion d'oxygène et l'infiltration de l'eau.

Mine à ciel ouvert

Le fond de la mine à ciel ouvert constitué de schistes alumineux très imperméables a permis de créer un lac de 250 000 m². L'eau souterraine remplissait la mine environ jusqu'au niveau initial et se déversait dans l'environnement. Avant le remplissage de la mine, les stériles entreposés à proximité du front d'abattage ont été déversés dans le fond de la mine et recouverts de moraines. Au total, plus de 0,5 million de m³ de roches et de terre ont été transférées dans la mine avant son noyage. Le remplissage du lac par 1,3 millions de m³ d'eau s'est achevé vers le milieu de l'année 1993.

Résultats

La restauration du site de Ranstad vise à réduire les effets des activités extractives jusqu'à des niveaux acceptables par rapport aux valeurs du fond ambiant. Un vaste programme de surveillance de l'environnement a été mis en œuvre afin de contrôler la qualité de l'eau dans l'aire d'évacuation et l'ancienne mine à ciel ouvert ainsi que dans les zones en aval. On mesure des paramètres classiques tels que les macrocomposants, le pH, l'alcalinité, les métaux lourds, l'uranium et le radium. De plus, des mesures de débit permettent d'estimer le transport de différents éléments, autrement dit la charge totale de ces éléments.

La première phase du réaménagement s'est achevée à la fin de l'année 1992 par la mise en place du système de couverture. Trois ans plus tard, on constate que la concentration de polluants dans le lixiviat de l'aire d'évacuation n'est plus qu'un tiers de ce qu'elle était avant le réaménagement. En outre, les concentrations d'uranium et de métaux lourds, comme le nickel, se sont stabilisées à un niveau relativement élevé dans le lac Tranebärssjön (l'ancienne mine à ciel ouvert). La concentration de ces métaux dans l'eau varie considérablement entre la surface et le fond. La stratification du lac est très stable, caractérisée par des conditions anaérobies au delà de 10 mètres de profondeur.

Conclusions

La prévision des répercussions sur l'environnement a constitué une part importante des recherches effectuées préalablement au réaménagement du site de Ranstad. Elle apporte un fondement scientifique pour évaluer les opérations de restauration et permet aux autorités compétentes d'évaluer le plan de réaménagement. Les techniques d'élaboration d'une couverture protectrice dotée d'une faible conductivité hydraulique pour les résidus ont été dûment testées et établies à l'aide d'un programme approprié de contrôle de qualité et d'assurance qualité.

Une phase de suivi du projet succède à la première phase du réaménagement. Trois ans après la mise en place du système de couverture, la teneur en métaux lourds (y compris l'uranium) dans le lixiviat des résidus du traitement est en diminution. Toutefois, elle baisse lentement et il faudra encore attendre au moins trois ans avant qu'elle atteigne des niveaux acceptables par rapport aux valeurs du fond naturel.

La concentration de la plupart des métaux a commencé par augmenter dans l'eau stratifiée du fond du lac Tranebärssjön qui occupe l'ancienne mine à ciel ouvert. Cependant, les concentrations près de la surface d'éléments tels que l'uranium, le nickel, le cadmium et le cobalt demeurent stables à un niveau relativement élevé.

Le système de couverture des résidus est censé réduire au minimum la pénétration d'oxygène et l'infiltration d'humidité due aux précipitations dans les résidus. D'après les observations, 10 à 15% des précipitations s'infiltrent et la teneur en oxygène dans les résidus est inférieure à 1%. Le système de couverture remplit donc pleinement sa fonction.

• Ukraine •

L'industrie ukrainienne de l'uranium a débuté en 1944 par la prospection à des fins commerciales des provinces ukrainiennes de Dnieprovsk et de Kirovograd. On recense à l'heure actuelle plus de vingt gisements d'uranium d'intérêt commercial. Les plus importants sont ceux de Vatoutinskoïe, Severinskoïe et Mitchourinskoïe. La production d'uranium en Ukraine a commencé dans un centre de production du fer déjà en place, situé au bord du cours d'eau Zholtaya. L'installation de main-d'œuvre sur place a donné naissance à la ville de Jeltiye Vody.

Les industries de l'uranium et des combustibles nucléaires possèdent deux grands centres de production : les Ateliers orientaux d'exploitation minière et de concentration de Jeltiye Vody (VostGOK) et l'usine chimique d'amalgamation industrielle de Prednieprovsky (P.Ch. Z.).

L'entreprise VostGOK exploite actuellement les mines souterraines situées près de Kirovograd et de Smolino dans la province de Kirovograd. P.Ch.Z., implantée dans la province de Dnieprovsk, a produit de l'uranium de 1947 à 1991. Aujourd'hui elle produit différents métaux, matériaux et composés chimiques destinés à l'industrie nucléaire.

VostGOK et P.Ch.Z. sont situées dans le centre de l'Ukraine. Cette région, fortement peuplée, possède une infrastructure développée et des sols fertiles faisant l'objet d'une agriculture intensive.

Description de la production et des déchets

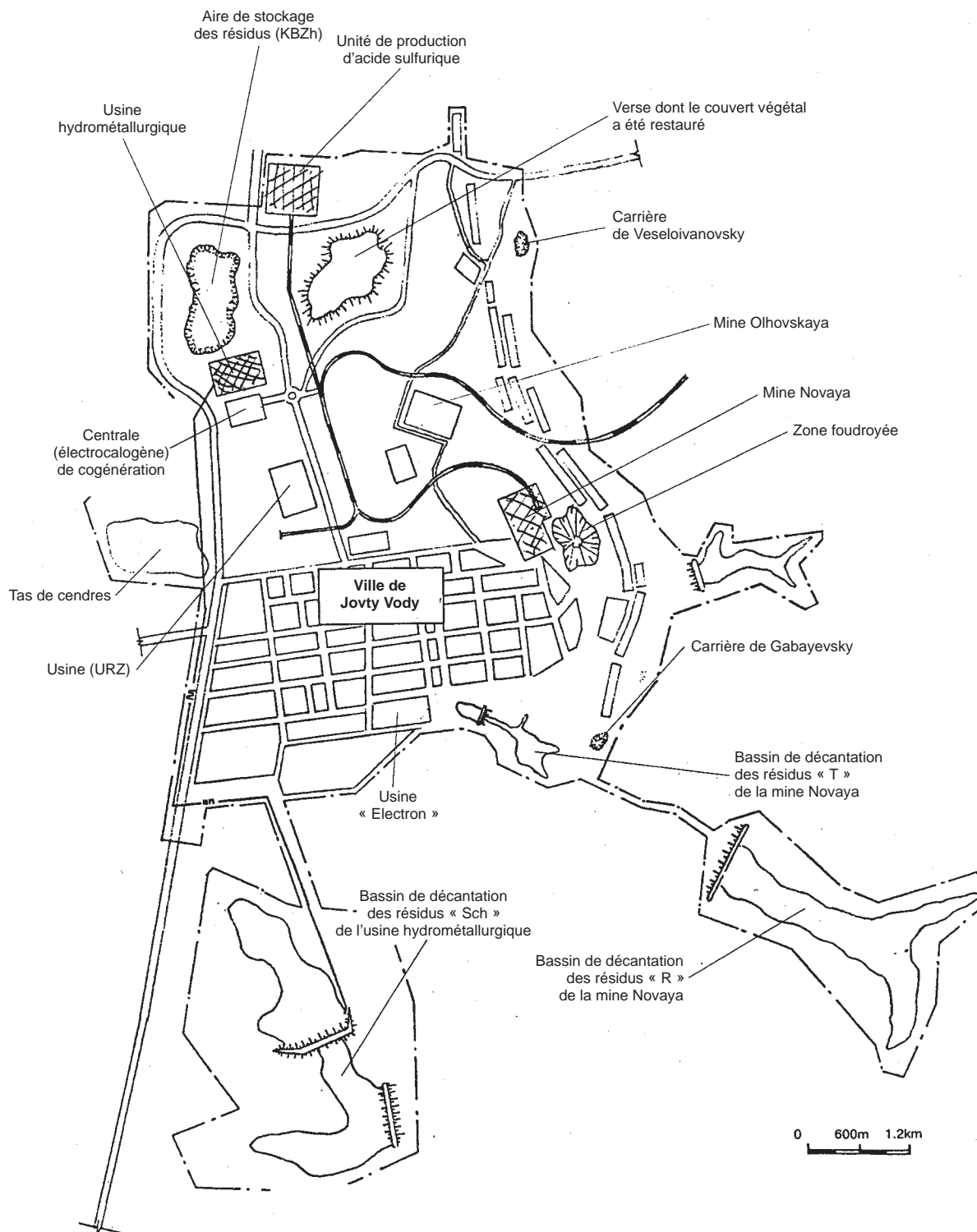
Site industriel de Jeltiye Vody

Le site industriel de Jeltiye Vody est le centre d'exploitation principal de VostGOK (voir Figure 1). Des entreprises minières et des industries connexes sont implantées sur ce site : les mines Olhovskaya et Novaya, une usine hydrométallurgique (HMZ), une unité de production d'acide sulfurique (SKZ), une station génératrice d'énergie et les bureaux de la société.

Plusieurs installations ont été créées au cours de l'exploitation de la mine de Zholtovodskiy : les carrières de Gabayevskiy et de Veseloivanovskiy, trois verses à stériles dénommées KBZh, Sch et R, et une mine à ciel ouvert. L'exploitation des mines Olhovskaya et Novaya a entraîné l'accumulation de 550 000 m³ de résidus.

Ces activités s'étendent sur 968 hectares qui se répartissent entre les haldes (19,1), les mines à ciel ouvert (17), les carrières (50,6), les résidus (645,6) et d'autres éléments.

Figure 1. Plan du site industriel de Jeltye Vody



La mine Olhovskaya a été fermée en 1980.

Les boues et roches stériles de la mine Novaya ont été transférées dans la mine à ciel ouvert. Une ancienne mine de fer à ciel ouvert a été reconvertie en aire de confinement des résidus (KBZh). Ces résidus sont entreposés à l'intérieur de la zone de protection sanitaire de l'usine hydrométallurgique, à trois kilomètres de la ville. La mine a été comblée en 1987. La quantité totale de résidus s'élève à 19,34 millions de tonnes.

La majorité de ces résidus ont été réaménagés. La superficie restante est réservée aux dépôts d'urgence de résidus en cas d'incident à l'usine hydrométallurgique. Le minerai d'uranium lixivié qui compose les résidus contient 0,007% d'uranium. Les émanations de radon à partir de la surface des résidus varient entre 0,05 et 3,0 Bq/m² par seconde.

Le site de réception des résidus Sch couvre 250 hectares situés à 1,5 kilomètres de la ville dans un ravin nommé Scherbatovska. L'évacuation des résidus y a commencé en 1979. Leur teneur en uranium s'élève à 0,007%. Les émanations de radon provenant des résidus oscillent entre 0,5 et 2 Bq/m² par seconde. L'activité alpha totale des résidus est de $1,8 \times 10^{15}$ Bq.

Le site R occupe 230 hectares, à proximité de la rivière Jaune, dans le ravin de Rabery. Cette aire a servi à entreposer des résidus de minerai de fer de la mine Novaya à partir de 1969.

Chaque année, 2,4 millions de m³ d'eaux d'exhaure sont décontaminées par élimination des radionucléides avant d'être rejetées dans l'environnement.

Site industriel de la mine d'Ingulsky

Ce site se trouve au sud de Kirovograd (voir Figure 2). Le gisement d'uranium, situé à 700 mètres de profondeur a été exploité par trois puits. Après un tri préliminaire, le minerai est divisé en minerai d'intérêt commercial, minerai marginal et boues et roches stériles.

Le minerai marginal et les boues et roches stériles sont transportés vers les verses.

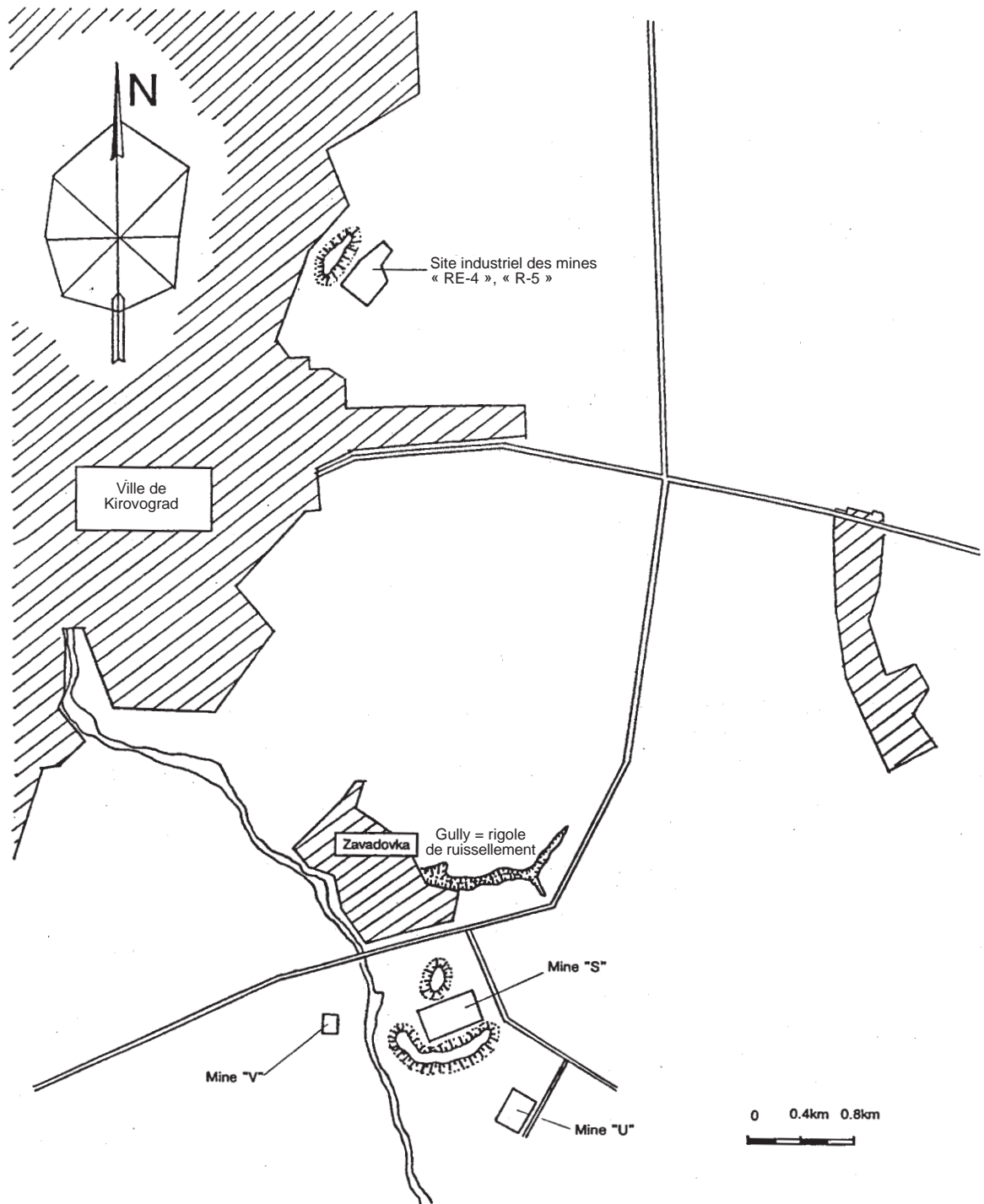
Réaménagement du terrain

Les projets suivants de réaménagement du sol sont en cours en Ukraine :

- restauration du couvert végétal des sites industriels ayant servi au stockage de l'uranium ;
- réaménagement de la mine et du puits d'Olhovskaya et des terrains limitrophes ;
- réaménagement de l'aire de confinement des résidus KBZh ; et
- décontamination de la gare de marchandise de Lviv à Muchachevo.

L'Ukraine conduit aussi d'autres projets tels que la restauration du couvert végétal des verses à stériles et résidus à Mayly Say et le réaménagement de la mine Shecaftar, tous situés au Kirghizistan; la décontamination de la gare de marchandise de Brest au Bélarus; et le réaménagement de la mine d'Ingulsky en Ukraine.

Figure 2. Groupe minier d'Ingulsky



Cadre juridique

Après la promulgation de l'indépendance en 1991, l'Ukraine a modifié les lois héritées de l'ex-URSS et voté de nouvelles lois et projets de loi nationaux. Ces instruments réglementent aussi les activités géologiques, extractives et énergétiques. La nouvelle constitution de l'Ukraine a été proclamée en 1996. Aussi les projets de réaménagement sont-ils régis par de nouvelles dispositions législatives :

- La Loi ukrainienne sur l'utilisation de l'énergie nucléaire et la sûreté radiologique.
- La Loi ukrainienne sur la gestion des déchets radioactifs.
- Le projet de loi ukrainien sur la réglementation de la décontamination lors de la fermeture, la réorientation des activités industrielles et la fermeture temporaire des entreprises d'extraction et de traitement des minerais radioactifs.

Réaménagement de la mine et du puits d'Olhovskaya et des terrains connexes

Le réaménagement de la mine et du puits d'Olhovskaya et des terrains connexes s'est déroulé entre 1979 et 1982. On a procédé à l'enlèvement sélectif des tas de déchets, des verses à stériles et du minerai marginal. Une partie de ces déchets a été acheminée vers l'usine hydrométallurgique de VostGOK, tandis qu'une autre partie a été transportée vers un bassin de décantation. Mais la majeure partie de ces roches a été déchargée dans la carrière située à proximité. Au total, 550 000 m³ de roches abattues ont été transportées et/ou utilisées.

Le sol contaminé situé en dessous des décharges a été excavé jusqu'à une profondeur d'un mètre et déversé dans la carrière. La superficie replantée de 15 hectares émet un rayonnement gamma de 0,10-0,22 microSv/heure. La zone réaménagée est occupée par des bâtiments à usages civils et industriels et des terrains cultivés.

Restauration du couvert végétal de l'aire de confinement des résidus KBZh

La restauration du couvert végétal de l'aire de confinement des résidus KBZh, entamée en 1991, se poursuit. Environ 85% de la superficie du site KBZh a été recouverte d'une couche de 0,4 m de limon argileux destinée à prévenir la migration des poussières. La structure de la couche protectrice devrait répondre, selon le projet, aux caractéristiques suivantes : 0,4 m de limon argileux (déjà déposé), 0,4 m de roches, 3,5 m de limon argileux compacté, et 0,4 m de tchernoziem. Au terme de son réaménagement, ce territoire de 55 hectares sera consacré au pâturage.

Restauration du couvert végétal des verses de la mine d'Ingulsky

Afin de réduire l'influence négative sur l'environnement des verses de la mine d'Ingulsky, les stériles issus de l'extraction seront déversés dans des ravins. Au total, 500 000 m³ de déchets miniers présentant une activité de 370 à 39 000 Bq/kg seront déplacés. Le fond sera recouvert d'une couche d'argile imperméable de 0,4 m. Ces déchets seront surmontés par une couche d'argile de 0,4 m, une couche de roches concassées pour le drainage et une couche imperméable de 1,5 m de limon, le tout coiffé par une couche de 0,3 m de sol fertile.

D'après le plan, l'intensité des émanations de radon provenant du site sera identique au niveau de fond et les eaux souterraines seront préservées durant des milliers d'années. Environ 7,4 hectares de terrains réaménagés seront boisés.

Problèmes liés au réaménagement des sites industriels dans la ville de Jeltiye Vody

Sur les sites industriels de VostGOK, des matériaux radioactifs ont été utilisés pour construire des logements et des immeubles d'habitation entre 1940 et 1970. Dans les années 80, VostGOK a décontaminé les secteurs les plus pollués de la ville. Cependant, beaucoup reste à faire. Le rayonnement gamma et la concentration de radon dans les bâtiments de la ville sont représentés à la figure 3. En 1994, on a effectué 2 000 mesures afin d'évaluer les concentrations de radon à l'intérieur des immeubles de la ville.

Le 8 juillet 1995, le Conseil des ministres d'Ukraine a statué sur le « Programme public de mesures visant la sûreté radiologique et l'aide sociale aux habitants de Jeltiye Vody dans la province de Dnieprovsk ».

La première phase de dix ans du programme prévoit les mesures suivantes : assainir et éliminer les zones contaminées dans la ville, prendre des mesures pour réduire les concentrations de radon dans les habitations, et élaborer et mettre en œuvre une surveillance radioécologique.

Programme public pour l'amélioration de la radioprotection sur les sites et dans les installations de l'industrie nucléaire de l'Ukraine

Les principaux volets du Programme public pour l'amélioration de la sûreté radiologique en Ukraine sont reproduits à la figure 4. Le programme couvre tous les sites industriels et les aspects environnementaux répertoriés de l'extraction et du traitement de l'uranium. La mise en œuvre du programme coûtera 360 millions de dollars des États-Unis.

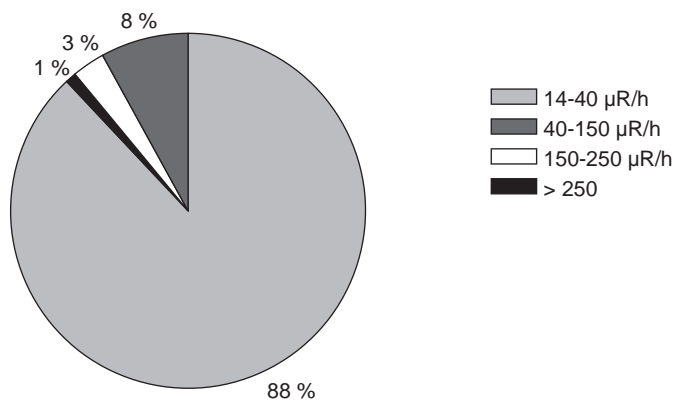
Organisation du développement technologique de l'extraction et du traitement de l'uranium

Le Conseil ukrainien de l'uranium et son groupe technique s'emploient à orienter la recherche industrielle visant l'extraction et le traitement de l'uranium vers la mise au point de la technologie nécessaire pour modéliser l'écosystème afin de réduire au minimum les incidences négatives sur l'environnement.

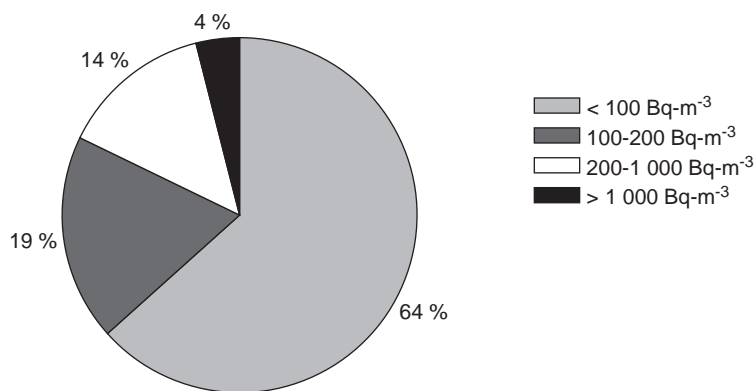
La réalisation de cette étape passe par des innovations telles que celles qui sont énumérées ci-dessous :

- Production par P.Ch. Z. (M. Y.F. Korovin, Directeur général) d'une résine échangeuse d'ions très efficace pour l'extraction à haut rendement de l'uranium du minerai uranifère.
- Mise au point par VostGOK (M. M.I. Babach, Directeur général) d'une méthode de traitement avancé, puis étude d'une nouvelle technologie d'utilisation de la pulpe dans les mines souterraines.

Figure 3. Rayonnement gamma et concentration de radon dans les immeubles de la ville de Jovty Vody

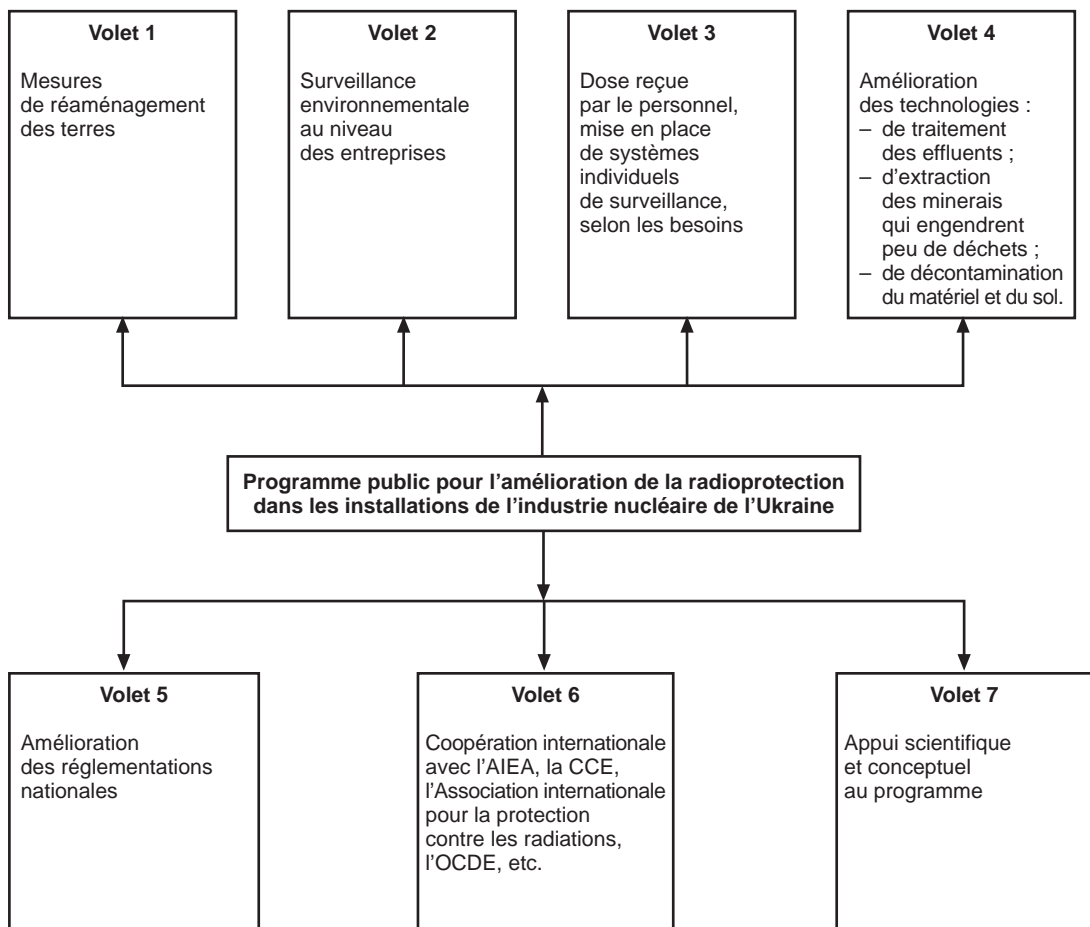


Débit de dose de rayonnement gamma sur le territoire étudié de la ville de Jovty Vody



Concentration de radon équivalente à l'équilibre dans les immeubles de la ville de Jovty Vody

Figure 4. Programme public pour l'amélioration de la radioprotection



Principaux volets du programme public pour l'amélioration planifiée de la radioprotection

Législation relative au réaménagement des mines

À l'heure actuelle, la fermeture des mines et des usines d'uranium n'est régie par aucune loi ou réglementation. L'étude des répercussions sur l'environnement est réalisée parallèlement à la prospection et à l'exploitation de l'uranium et à la fermeture des installations de production d'uranium. Elle est menée en application des décrets du Cabinet des ministres, d'arrêtés du Ministère de la Protection de l'environnement et de la Sûreté nucléaire et de prescriptions du Comité d'État d'Ukraine d'études géologiques et d'utilisation des ressources minérales.

Le Comité d'État d'Ukraine sur l'utilisation de l'électronucléaire a élaboré la législation ukrainienne intitulée « De l'extraction et du traitement du minerai uranifère ». Cette législation régit les relations entre l'extraction et le traitement des minerais d'uranium, maintient un équilibre entre les impératifs d'extraction et de traitement des minerais d'uranium et la nécessité d'assurer la sécurité des personnes et de protéger l'environnement, et réglemente les activités dans ce domaine, les méthodes et les matières radioactives, ainsi que la sûreté dans les mines et les installations de traitement de l'uranium.

Cette législation énonce les principaux objectifs, conditions et définitions de la réglementation visant l'extraction et le traitement de l'uranium. Elle intègre les dispositions législatives applicables (constitution ukrainienne, Code foncier, lois ukrainiennes concernant entre autres « l'utilisation de l'énergie nucléaire et la sûreté radiologique », « la protection de l'environnement », et « la protection du personnel »).

La législation expose la politique et les principes de base adoptés par le gouvernement dans le domaine de l'extraction et du traitement de l'uranium, de la propriété des installations de production d'uranium, des droits des personnes et de leurs syndicats dans le secteur de l'extraction et du traitement de l'uranium, et le rôle des pouvoirs publics et des organismes de gestion.

Le statut légal des installations de production d'uranium et de leur personnel, le régime juridique de la répartition territoriale des installations de production d'uranium et la responsabilité en cas de violation des dispositions législatives visant l'extraction et le traitement de l'uranium sont aussi précisés dans cette législation.

Recherche

Avant que la législation soit adoptée, des experts devront conduire des recherches géologiques et écologiques sur les mines et les zones adjacentes. Ces recherches s'effectuent au cours de la prospection, de l'exploitation et du démantèlement ou de la reconversion des installations de production d'uranium, ou une fois que le gisement d'uranium est épuisé.

Ces recherches englobent la mesure des paramètres environnementaux de fond, la détermination de l'intensité des rayonnements à l'intérieur du gisement (d'après des études radiométriques et la mesure des émanations, conduites à l'échelle 1/5000ème), la caractérisation des eaux superficielles et souterraines et de leur évolution éventuelle pendant l'exploration et l'exploitation, la caractérisation du sol à l'aide d'essais radioécologiques et toxicologiques réalisés sur un maillage de 400 m x 200 m couvrant l'intérieur du gisement et les terrains alentour jusqu'à une distance de 1 000 m au-delà des limites du gisement, et l'analyse quantitative et qualitative des eaux d'exhaure.

L'entreprise « Kirovgeology » surveille actuellement les émanations de radon dans l'environnement, autour des installations d'extraction et de traitement de l'uranium. Cette tâche pose certains problèmes, notamment le choix de la méthode -passive ou active- la plus appropriée. On reconnaît qu'il est nécessaire de créer un Programme national sur le radon pour le pays.

L'Ukraine est prête à s'engager dans une coopération internationale sur les aspects environnementaux de l'extraction et du traitement de l'uranium, qui tire les leçons de l'expérience acquise dans ce domaine.

ANNEXE 1

ÉVALUATION DES INCIDENCES D'UN CENTRE D'EXTRACTION ET DE TRAITEMENT DE L'URANIUM PRÉSENTÉE À TITRE D'EXEMPLE¹

Résumé des incidences de l'extraction et du traitement de l'uranium

Une partie des divers effets qui peuvent résulter de l'extraction et du traitement de l'uranium sont limités à certaines opérations. Le tableau A1 énumère les effets et les types d'exploitation où ils pourraient se produire.

Tableau A1. **Résumé des incidences de l'extraction et du traitement de l'uranium**

Risque	Voie d'exposition	Groupe exposé	Agent	Exploitation	ID
Radiologique	Air	Personnel	Rayonnement externe	O U M	R1
			Produits de filiation du radon	O U A B M	R2
			Dose cutanée	O U M	R3
			Ingestion	O U M	R4
			Poussières radioactives à vie longue	O U M	R5
		Autres	Rejet de radionucléides	O U A B M	R6
		Eau	Autres	Rejet de radionucléides	O U A B M
Toxicologique	Air	Personnel	CO and CO ₂	O U A B M	T1
			NO, NO _x	O U	T2
			Particules émises par les moteurs diesel	O U	T3
			Fumées dégagées par le pétardage	O U	T4
			Bruit	O U M	T5
			Température/humidité	O U A B M	T6
		Eau	Autres	Lixiviation des métaux	O U A B M
Autre	N/A	Personnel	Pétardage	O U	O1
			Convoyage/transport	O U A B M	O2
			Défaillance du sol (majeure et mineure)	O U	O3
			Incendie	O U M	O4
			Vibrations	U	O5
			Humidité	U	O6
			Matériel lourd	O U A B M	O7
			Réactifs	A B M	O8
		Autres	Ouverture du sol	O U	O9
			Rupture de barrage	M	O10
			Aliénation temporaire des terres	O U A B M	O11
			Aliénation permanente des terres	O M	O12
Autre	N/A	Autres	Affaissement du sol	U	O13

1. Extrait de l'annexe A du rapport 1996 de l'AIEA intitulé « Health and Environmental Aspects of Nuclear Fuel Cycle Facilities », AIEA-TECDOC-918, Vienne, Autriche.

Les lettres, dont on trouvera l'explication ci-dessous, figurant dans la colonne intitulée « Opération » renvoient aux types d'activités donnant lieu aux différentes formes de pollution recensées.

- O =extraction à ciel ouvert
- U =extraction souterraine
- A =lixiviation in situ par voie acide
- B =lixiviation in situ par voie alcaline
- M =traitement (y compris la gestion des résidus)

Le code attribué aux différentes formes de pollution dans la colonne « ID » du tableau A1 sera repris plus loin dans la présente annexe.

Évaluation des incidences

Les effets de l'extraction et du traitement de l'uranium peuvent affecter le personnel, la population locale et l'environnement dans sa globalité. Ces effets sont de trois types : radiologiques, toxicologiques et autres. La portée de ces incidences dépend de quatre facteurs principaux pour une mine ou une installation de traitement donnée : le type d'exploitation, la teneur du minerai extrait ou traité, l'âge de l'installation (car les installations plus anciennes ne sont généralement pas équipées des mêmes systèmes de radioprotection et de protection de l'environnement) et la densité de la population locale. La combinaison de ces facteurs permet d'envisager 40 catégories différentes d'installations. En pratique, toutefois, les facteurs ne sont pas tous significatifs dans tous les cas, si bien que le nombre de cas est inférieur.

Il est impossible de mettre au point un modèle unique représentatif de toutes les catégories, étant donné qu'il existe des différences majeures qui ne peuvent être ramenées à une moyenne lorsqu'on établit les incidences. Cependant, il est théoriquement possible de créer un modèle pour chaque catégorie, et de déterminer l'impact total des opérations d'extraction et de traitement de l'uranium dans le monde entier en additionnant les catégories et en les pondérant en fonction de la quantité d'uranium imputable à chaque catégorie.

C'est la raison d'être du tableau A2. Il indique les incidences qui risquent d'être significatives dans une conjoncture donnée. Pour calculer l'impact total il suffit de comptabiliser les incidences significatives. Bien que d'autres incidences puissent intervenir, leur contribution à l'impact total sera vraisemblablement faible.

On part de l'hypothèse que certains effets sont limités par des pratiques appropriées, aussi ne sont-ils pas inclus. Si tel n'était pas le cas, il faudrait tenir compte de toutes les incidences possibles dans ces circonstances.

Il convient de noter que les répercussions sur la population locale et l'environnement seraient probablement différentes selon qu'elles se produisent pendant l'exploitation ou après la fermeture des installations. Les entrées du tableau qui se rapportent à « Traitement » englobent les incidences susceptibles de résulter du traitement des résidus pendant et après l'exploitation.

Les entrées sous la rubrique « Lixiviation in situ » regroupent les effets possibles de l'extraction et du traitement. S'agissant des opérations classiques d'extraction et de traitement, il sera généralement nécessaire de considérer séparément les répercussions de l'extraction et du traitement.

Les lettres et les chiffres apparaissant dans les colonnes intitulées « Incidences significatives » permettent d'identifier l'incidence potentielle selon les références énumérées dans la colonne « ID » du tableau A1. L'absence d'entrée correspond aux cas où aucune incidence significative n'est prévue.

La distinction entre minerai à faible teneur et minerai à forte teneur, entre installation récente et ancienne, entre population dense et clairsemée au voisinage des installations ne se veut pas absolue. D'une façon générale, les définitions suivantes peuvent servir de référence pour interpréter le tableau :

Forte teneur : minerai dont la teneur en uranium est supérieure à 0,5%.

Faible teneur : minerai dont la teneur en uranium est inférieure à 0,5%.

Installation récente : installation conforme aux normes actuelles en matière d'environnement et de sûreté
Installation ancienne : autres installations.

Population dense : moyenne supérieure à 3 habitants par km² dans un rayon de 25 kilomètres.

Population clairsemée : moyenne inférieure à 3 habitants par km² dans un rayon de 25 kilomètres.

Tableau A2. Incidences possibles sur le personnel, la population locale et l'environnement

Type d'exploitation	Teneur du minerai	Âge de l'installation	Population locale	Incidences significatives				
				Personnel		Population locale		Environnement
				<i>Pendant</i>	<i>Pendant</i>	<i>Après</i>	<i>Pendant</i>	<i>Après</i>
À ciel ouvert	Forte	Récente	Dense	R1,2,5 T2,4,5,6 O1,2,3,7	R6 O11	R7 T7 O9	R6,7 T7	T7
			Clairsemée			O9		
		Ancienne	Dense	R1,2,5 T2,4,5,6 O1,2,3,7	R6 T7 O11	R7 T7 O9	R6,7 T7	R7 T7
			Clairsemée		R6 T7	O9		
	Faible	Récente	Dense	T2,4,5,6 O1,2,3,7	R6 T7 O11	T7 O9	T7	T7
			Clairsemée			O9		
Ancienne		Dense	T2,4,5,6 O1,2,3,7	R6 O11	T7 O9	R7 T7	R7 T7	
		Clairsemée			O9			
Souterraine	Forte	Récente	Dense	R1,2,3,5 T2,3,4,5 O1,2,3,4,5,6 ,7	R6 O11	O13	R6	
			Clairsemée					
		Ancienne	Dense	R1,2,3,5 T2,3,4,5 O1,2,3,4,5,6 ,7	R6 O11	O13	R6	R7
			Clairsemée					

Type d'exploitation	Teneur du minerai	Âge de l'installation	Population locale	Incidences significatives				
				Personnel	Population locale		Environnement	
				Pendant	Pendant	Après	Pendant	Après
Souterraine	Faible	Récente	Dense	R1,2,5 T2,3,4,5 O1,2,3,4,5,6,7	R6 O11	O13		
			Sparse					
		Ancienne	Dense	R1,2,5 T2,3,4,5 O1,2,3,4,5,6,7	R6 O11	O13	R6	
			Sparse					
LIS par voie acide	Forte ou faible	Récente ou ancienne	Dense ou clairsemée	T6 O2,7,8	O11	R7 T7		R7 T7
LIS par voie alcaline	Forte ou faible	Récente ou ancienne	Dense ou clairsemée	T6 O2,7	O11			
Traitement	Forte	Récente	Dense	R1,2,3,4,5 T5,6 O2,4,7,8	R6,7 O11	O10,12	R6,7	O10
			Clairsemée			O12		
		Ancienne	Dense	R1,2,3,4,5 T5,6 O2,4,7,8	R6,7 O11	R7 T7 O11	R6,7	R7 T7 O10
			Clairsemée			R7 T7 O12		
	Faible	Récente	Dense	R1,2,4,5 T5,6 O2,4,7,8	O11	O12		O10
			Clairsemée			O12		
Ancienne	Dense	R1,2,4,5 T5,6 O2,4,7,8	R6,7 O11	O12	R7	R7 T7 O10		
		Clairsemée		O12				

Exemple illustratif

Mine: Key Lake, Canada
Type: Mine à ciel ouvert et installation de traitement
Teneur du minerai: Forte
Âge de l'installation: Récente (1983)
Population locale: Clairsemée
Production: 5 314 tonnes d'uranium en 1993 (16,3% de la production mondiale)

Incidences significatives possibles de la mine

- R1: Exposition du personnel aux rayonnements externes
- R5: Exposition du personnel aux poussières radioactives à vie longue

- R6: Incidence sur l'environnement de la libération de radionucléides dans l'air durant l'exploitation
- R7: Incidence sur l'environnement de la libération de radionucléides dans le milieu aquatique durant l'exploitation
- T2: Exposition du personnel au NO et aux NOx
- T4: Exposition du personnel aux fumées dégagées par le pétardage
- T5: Exposition du personnel au bruit
- T6: Exposition du personnel à la température et à l'humidité
- T7: Incidence sur l'environnement des métaux entraînés par lixiviation dans le milieu aquatique avant et après l'exploitation
- O1: Accidents de travail dus au pétardage
- O2: Accidents de travail pendant le convoyage ou le transport
- O3: Accidents de travail dus à une défaillance du sol
- O7: Accidents de travail pendant de la manipulation de matériel lourd
- O9: Risque d'accident associé à l'existence d'une mine à ciel ouvert désaffectée

Incidences significatives possibles de l'installation de traitement

- R1: Exposition du personnel aux rayonnements externes
- R2: Exposition du personnel aux produits de filiation du radon
- R3: Dose cutanée de rayonnement reçue par le personnel
- R4: Ingestion de substances radioactives
- R5: Exposition du personnel aux poussières radioactives à vie longue
- R6: Répercussions sur l'environnement de la libération de radionucléides dans l'air pendant l'exploitation
- R7: Répercussions sur l'environnement de la libération de radionucléides dans le milieu aquatique pendant l'exploitation
- T5: Exposition du personnel au bruit
- T6: Incidence de l'humidité et de la température sur les mineurs
- O2: Accidents travail pendant le convoyage ou le transport
- O4: Incendie
- O7: Accidents travail pendant la manipulation de matériel lourd
- O8: Accidents travail dûs à des réactifs
- O10: Probabilité et conséquences écologiques de la rupture d'un barrage après l'exploitation
- O12: Superficie de terres qui ne pourront plus être utilisées (aliénation)

ANNEXE 2

ACTIVITÉS ET PUBLICATIONS DE L'AIEA RELATIVES AUX ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX DE LA PRODUCTION D'URANIUM

Au sein de l'AIEA, deux divisions s'occupent des questions d'environnement et de sûreté liées à l'extraction et au traitement de l'uranium et conduisent les programmes dans ce domaine : la Division de la sûreté radiologique et de la sûreté des déchets et la Division du cycle du combustible nucléaire et de la technologie des déchets.

Ces activités s'inscrivent dans le programme ordinaire de l'AIEA mais aussi dans le programme de coopération technique avec les pays en développement. L'objectif du programme ordinaire est de favoriser les échanges d'informations lors de réunions et par le biais des publications. Il comporte également la reconnaissance, la définition et la promotion de normes et de directives internationales. Dans la pratique, ces activités sont confiées à des groupes consultatifs, des comités techniques et des consultants. La coopération technique recouvre tous les transferts de technologies réalisés dans le cadre de projets, de formations et de visites de scientifiques ainsi que de consultations de spécialistes.

La Division de la sûreté radiologique et de la sûreté des déchets prépare des documents sous forme de normes de sûreté. La documentation qu'établit cette division pour l'élaboration des normes est revue par des comités consultatifs pour les normes auxquels siègent des représentants des pays Membres. À l'heure actuelle, cette division prépare une publication dans la collection des Guides de sûreté dont le titre est : « la gestion sûre des déchets radioactifs ».

La Division du cycle du combustible nucléaire et de la technologie des déchets participe aux projets de coopération technique et a récemment lancé le Programme environnemental et mission d'évaluation de la sûreté de l'UPSAT (Uranium Production Safety Assessment Team). Dans le cadre de ce programme, elle prépare actuellement la réalisation d'une évaluation des activités d'une mine/usine de traitement. Cette Division conduit par ailleurs un projet régional en Europe centrale et orientale axé sur l'identification et la caractérisation des sites contaminés de la région.

Cette même Division a organisé une formation régionale consacrée à l'extraction de l'uranium où ont été abordés les aspects environnementaux, et conduit actuellement au Kazakhstan un projet modèle de coopération technique intitulé « Technologies modernes d'extraction de l'uranium par lixiviation in situ ». Ce projet comporte une étude de référence et une évaluation de l'impact sur l'environnement, et permettra d'aborder les bonnes pratiques pour la conception, l'exploitation et le réaménagement des sites et d'autres aspects de l'extraction par lixiviation in situ. Un autre projet de recherche coordonné, intitulé « Traitement des effluents liquides des mines et des usines de traitement d'uranium pendant et après l'exploitation (réaménagement après démantèlement) », réunit 11 pays. La Division mène d'autres activités encore concernant les pratiques environnementales rationnelles dans l'extraction de l'uranium par lixiviation in situ.

Projets de coopération technique et publications

Il y a longtemps déjà que l'AIEA a entrepris de publier des ouvrages sur les résidus d'extraction et de traitement de l'uranium et de lancer des projets de coopération dans ce domaine. A la fin des années 80, des projets de coopération technique ont été menés à bien, notamment en Argentine et au Portugal. En 1992, une mission de coopération technique de l'AIEA sur le site de la mine d'uranium de Rössing, en Namibie, a pu constater que, malgré le manque de ressources, la Direction de cette mine était parvenue à obtenir des résultats très satisfaisants en termes de niveaux de contamination et de prévention de la dispersion des contaminants radioactifs. Dans plusieurs autres pays, l'AIEA a parrainé des évaluations des conditions radiologiques sur les sites de mines et d'usines de traitement qui ont montré que la production d'uranium peut être effectuée en toute sécurité sans dommage pour l'environnement.

On trouvera à la fin de cette annexe une liste des publications de l'AIEA relatives aux aspects environnementaux de la production de l'uranium. En 1992, l'AIEA a publié un rapport intitulé « Current Practices for the Management of Uranium Mill Tailings » (Technical Reports Series No. 335) qui fait le tour des pratiques utilisées actuellement pour la conception, l'implantation, la construction et l'exploitation des bassins de décantation des résidus de traitement de l'uranium. Ce rapport donne une vue d'ensemble des aspects de la sûreté technologique et de la radioprotection à prendre en compte pour atténuer le plus possible les risques potentiels, qu'ils soient radiologiques ou autres, liés à la gestion des résidus d'extraction des mines d'uranium. Ce rapport :

- recense les types et sources de polluants radioactifs et autres dans les résidus de traitement de l'uranium ;
- définit les mécanismes prédominants de rejet de ces polluants par les bassins de décantation des résidus de traitement ainsi que les facteurs qui régissent ces mécanismes ;
- définit les spécificités de chacun de ces mécanismes du point de vue de la radioprotection ;
- décrit les voies par lesquelles les polluants peuvent atteindre l'homme ;
- décrit quelques-unes des solutions qui peuvent être adoptées au moment de la sélection du site et de la conception pour faciliter l'élimination et/ou limiter l'importance des rejets des bassins de décantation des résidus.

Le démantèlement des installations d'extraction et de traitement du minerai d'uranium et la fermeture des stockages de résidus font l'objet d'un autre rapport technique publié en 1994 et intitulé « Decommissioning of Facilities for Mining and Milling of Radioactive Ores and Close-out of Residues » (Technical Report Series No. 362). Ce rapport fait le tour des facteurs intervenant dans la planification et la mise en œuvre du démantèlement ou de la fermeture des mines ou des usines de traitement d'uranium. Les informations qu'il contient s'appliquent aux mines, aux usines de traitement, aux tas de résidus de traitement, aux verses à stériles et aux résidus de lixiviation sur les sites en exploitation, en attente ou abandonnés, mais aussi aux futurs programmes d'extraction et de traitement. Il recense les principaux facteurs à prendre en compte lors des opérations de démantèlement/fermeture, notamment la réglementation ; le démantèlement des bâtiments, structures et équipements des mines et des usines ; le démantèlement ou la fermeture des mines à ciel ouvert ou souterraines ; le démantèlement ou le réaménagement des bassins de décantation des résidus ; le démantèlement ou le réaménagement des verses à stériles et autres stockages de minerais non traités ou de matériaux contaminés comme les tas de lixiviation, les équipements de lixiviation in situ et les sols contaminés ; le réaménagement du site et des propriétés voisines et la restauration des aquifères ;

la protection radiologique et les questions d'hygiène et de sécurité. Il contient en outre une évaluation des coûts et une étude des opérations de maintenance et de surveillance à mettre en place après le démantèlement ou la fermeture.

L'AIEA publie actuellement un document intitulé « A Review of Current Practices for the Close-out of Uranium Mines and Mills », qui fait le bilan des stratégies et pratiques nationales de démantèlement ou de fermeture des mines et usines de traitement de l'uranium. Ce document a pour but de dresser une liste de problèmes caractéristiques et des solutions trouvées par les différents pays pour les résoudre.

Après les changements politiques intervenus dans les pays d'Europe centrale et orientale et de l'ex-Union soviétique, on a pu constater l'état de l'environnement dans ces pays. L'environnement y a fait les frais du développement industriel extensif et des prélèvements considérables sur les ressources naturelles qui devaient servir à atteindre des objectifs fondés sur des quotas de production.

L'environnement a en effet été sacrifié au profit des diverses activités liées au cycle du combustible, à la défense, à l'industrie, mais aussi à la médecine et à la recherche. La pollution de l'environnement par les contaminants radioactifs représente un lourd héritage. Les déchets produits en cinquante années d'activité se sont accumulés, parfois sur des sites non enregistrés, où ils constituent pour le public un danger d'exposition à long terme.

Les changements politiques intervenus n'ont pas seulement permis la découverte partielle des sites nucléaires contaminés, ils ont aussi créé un climat tel que ces pays sont aujourd'hui réceptifs à la coopération avec une catégorie de pays dont ils étaient auparavant isolés.

C'est dans ces circonstances que l'AIEA a décidé de lancer le projet de coopération technique RER/9/022 sur la restauration de l'environnement dans les pays d'Europe centrale et orientale. La première partie de ce projet a débuté au deuxième semestre de 1992 et s'est terminée en 1994.

Ce projet était axé sur l'identification et la caractérisation des sites contaminés dans les pays d'Europe centrale et orientale. En effet, avant d'entreprendre toute action pour remettre en état l'environnement, les pays concernés et l'AIEA avaient besoin de dresser un bilan de l'état environnemental de chacun de ces pays. L'Agence a donc demandé à des spécialistes des États membres concernés de présenter des rapports exhaustifs sur les sites contaminés de leur pays. Ces derniers ont donc recensé et classé, le plus précisément possible, chaque site en fonction de son emplacement géographique, des volumes concernés et de la concentration radioactive. Parmi les facteurs pris en compte on peut citer : des données sur les concentrations radioactives sur les sites, les sources de contamination, une description des risques radiologiques (par exemple à proximité de zones peuplées), les possibilités de propagation de la contamination, etc. Chaque fois que possible, les organisations responsables de la surveillance et de la décontamination de chacun de ces sites ont été identifiées. Les résultats de la phase 1993-1994 ont été publiés en 1996 dans un rapport technique intitulé « Planning for Environmental Restoration of Radioactively Contaminated Sites in Central and Eastern Europe » (IAEA-TECDOC-865, 3 volumes).

Au cours de ce projet, il est apparu que la majorité de ces pays étaient touchés par le problème de la contamination liée à l'extraction et au traitement de l'uranium (la contamination accidentelle concernait un plus petite nombre de pays dont la situation fait l'objet d'autres projets de coopération technique). C'est pourquoi, il a été décidé de lancer une deuxième phase, couvrant la période 1995-96, pour se consacrer à la contamination radioactive imputable aux opérations d'extraction et de traitement de l'uranium et à la mise au point de projets de restauration de l'environnement.

Tandis que la phase 1993-1994 avait pour objet d'attirer l'attention des États membres sur un problème longuement négligé, le moment semblait venu pour les États membres de passer à la planification concrète des mesures d'assainissement des zones fortement contaminées. C'est ainsi que le débat scientifique a cédé peu à peu la place à l'identification des responsabilités, à la planification et à l'évaluation des ressources existantes et nécessaires pour la mise en œuvre des plans de restauration.

La phase 1995-96 s'est concrétisée par une réunion préliminaire de planification et trois ateliers. La réunion de planification, qui a regroupé des spécialistes de la région, avait pour but de définir les contributions des États membres de la région. Il fallut plus de deux ans pour mettre au point des plans de restauration environnementale détaillés. Cependant, des plans préliminaires devaient être prêts avant la fin du projet. À partir des résultats de la réunion de planification, des ateliers ont été organisés en parallèle avec les activités de planification dans les États membres. Au cours de ces ateliers, des spécialistes ont présenté des rapports d'avancement. Les conseils pratiques et le savoir-faire des pays ayant l'expérience de la restauration de l'environnement ont été exploités. Le calendrier prévoyait une réunion de planification à Vienne (mars 1995), des ateliers en Bulgarie (octobre 1995) et en Ukraine (avril 1996) et un dernier atelier en Roumanie (novembre 1996).

La réunion de Vienne devait également servir à définir les mécanismes d'organisation des réunions ultérieures. Après discussion, il a été décidé de recourir, pour chaque atelier, à trois mécanismes parallèles :

- Examen par des pairs d'une sélection de projets ou d'études de restauration environnementale. Dans l'idéal, la mise en œuvre de ce mécanisme comportait la visite sur le site d'un groupe de spécialistes. Pour améliorer l'efficacité de cet examen, le pays hôte communiquait aux spécialistes les informations nécessaires longtemps avant que ne se tienne l'atelier, lorsqu'une visite du site était prévue. Les informations fournies par le pays hôte déterminent en effet l'étendue et la précision de l'examen. Lors de l'atelier qui a eu lieu à Sofia en Bulgarie, en octobre 1995, ce mécanisme a parfaitement fonctionné pour le projet de restauration environnementale de Bukhovo (dans les environs de Sofia).
- Des rapports d'étapes. Les États membres participants au projet de l'AIEA établissent des plans de restauration environnementale ainsi que des études qui sont présentés dans des rapports d'étape.
- Débat thématique. Des spécialistes, appartenant ou non aux pays d'Europe centrale et orientale, sont chargés de faire des exposés thématiques au cours des ateliers. Parmi les thèmes traités dans le cadre de ces projets, on peut citer : la caractérisation radiologique et évaluation des doses ; les normes de décontamination et autres formes de réglementation ; la contamination et restauration des eaux souterraines ; et les coûts.

Le projet a porté principalement sur les pays suivants : Bulgarie, Estonie, Kazakstan, Kirghizistan, Ouzbékistan, Pologne, République tchèque, Roumanie, Slovénie et Ukraine. Des spécialistes de ces pays ont été nommés pour participer aux ateliers mentionnés ci-dessus. Les orateurs des pays suivants : Allemagne, Canada, Espagne, États-Unis, Fédération de Russie et France ont été invités à évoquer la planification et la réalisation d'opérations de restauration de l'environnement en fonction de leur expérience nationale. Les principaux résultats de la phase 1995-96 de ce projet de coopération technique sont actuellement regroupés dans une publication. Un rapport (TECDOC) réunira les communications présentées par les experts nationaux pendant et après l'atelier organisé en Roumanie en novembre 1996. Ces communications décrivent les progrès

accomplis dans chaque pays sur la durée du projet, ainsi que les problèmes rencontrés et les perspectives à court et à moyen terme. Après ce projet régional, plusieurs projets de coopération technique nationaux ont été lancés en 1997 et 1998. En Europe de l'Est, ces projets concernent le réaménagement des mines et des usines d'extraction en Bulgarie, en République tchèque et en Slovaquie. Hors de l'Europe, un projet a été lancé en Chine.

Parmi les activités futures, on peut citer un projet de recherche coordonné sur les technologies et méthodes de stabilisation et de confinement à long terme des résidus de traitement de l'uranium. De plus, dans le cadre du projet Radwast, la Division de la sûreté radiologique et de la sûreté des déchets prépare un rapport consacré à la surveillance des résidus d'extraction et de traitement de l'uranium.

Plusieurs documents techniques (TECDOCS) sont en préparation ou en projet :

- Technologie de réaménagement des sites contaminés.
- Options techniques pour la restauration des eaux souterraines contaminées.
- Surveillance des sites démantelés après leur réaménagement afin de vérifier leur conformité avec les critères de décontamination.
- Techniques de caractérisation des sites utilisées pour restauration environnementale.
- Catalogue des sites contaminés dans le monde.
- Pratiques de restauration environnementale en fonction de l'utilisation des sols, des coûts, de l'attitude du public et d'autres facteurs influant sur la décision (système de décision).
- « Incidences des nouvelles réglementations en matière d'environnement et de sûreté sur l'exploration, l'extraction, le traitement de l'uranium et la gestion des déchets », compte rendu de la réunion d'un comité technique de l'AIEA, 14-17 septembre 1998, Vienne ; Autriche.
- Publications de l'AIEA relatives à l'extraction et au traitement de l'uranium et du thorium.

Fondements de la sûreté

AIEA (1995), RADWASS Safety Fundamentals – *The Principles of Radioactive Waste Management*, Safety Series No. 111-F, Vienne, Autriche.

Normes de sûreté

AIEA (1995), RADWASS Safety Standard on *Establishing a National Legal System for Radioactive Waste Management*, Safety Series No. 111-S-1, Vienne, Autriche.

AIEA (1996), Normes fondamentales internationales de *protection contre les rayonnements ionisants et de sûreté des sources de rayonnements*, Collection Sécurité No. 115, Vienne, Autriche.

AIEA (1983), *La radioprotection des travailleurs dans l'extraction et le traitement des minerais radioactifs*, Collection Sécurité No. 26, Vienne, Autriche.

AIEA (1987), *Gestion des déchets des mines et des usines de traitement des minerais d'uranium et de thorium* – Code de bonne pratique et Guide, Collection Sécurité No. 85, Vienne, Autriche.

AIEA (1996), *Règlement de transport des matières radioactives*, Normes de sûreté No. ST-1, Vienne, Autriche.

Guides de sûreté

AIEA (1989), *Radiation Monitoring in the Mining and Milling of Radioactive Ores*, Safety Series No. 95, Vienne, Autriche.

AIEA (1994), *Classification of Radioactive Waste*, Safety Series No. 111-G-1.1, Vienne, Autriche.

AIEA, *Safe Management of Radioactive Waste from Mining and Milling of U/Th ores*, Safety Series No. NS-277, Vienne, Autriche (en préparation).

AIEA (1987), *Application of the Dose Limitation System to the Mining and Milling of Radioactive Ores*, Safety Series No. 82, Vienne, Autriche.

Pratiques de sûreté

AIEA, *Monitoring and Surveillance of Mining and Milling Tailings*, Procedures for Close-out of Mines, Waste Rock and Mill Tailings, Safety Series No. NS-XXX, Vienne, Autriche (en projet).

Procédures et données

AIEA (1989), *The Application of the Principles for Limiting Releases of Radioactive Effluents in the Case of the Mining and Milling of Radioactive Ores*, Safety Series No. 90, Vienne, Autriche.

Collection Rapports techniques

AIEA (1994), *Decommissioning of Facilities for Mining and Milling of Radioactive Ores and Close-out of Residues*, Technical Reports Series No. 362, Vienne, Autriche.

AIEA (1992), *Current Practices for the Management and Confinement of Uranium Mill Tailings*, Technical Reports Series No. 335, Vienne, Autriche.

AIEA (1992), *Measurement and Calculation of Radon Releases from Uranium Mill Tailings*, Technical Reports Series No. 333, Vienne, Autriche.

AIEA (1994), *Assessment and Comparison of Waste Management System Costs for Nuclear and Other Energy Sources*, Technical Reports Series No. 366, Vienne, Autriche.

Rapports divers

AIEA (1992), *Radioactive Waste Management*, An IAEA Source Book, Vienne, Autriche.

AIEA (1986), *Environmental Migration of Radium and Other Contaminants Present in Liquid and Solid Wastes from the Mining and Milling of Uranium*, IAEA-TECDOC-370, Vienne, Autriche.

AIEA (1994), *Safety Indicators in Different Time Frames for the Safety Assessment of Underground Radioactive Waste Repositories*, IAEA-TECDOC-767, Vienne, Autriche.

Gnugnoli, G., Laraia, M., Stegnar, P., *Mines d'uranium : le problème de la régénération de l'environnement*, AIEA Bulletin, vol. 38, No. 2, 1996, pp. 22-26, Vienne, Autriche.

Recommandations et directives

AIEA (1975), *Radon In Uranium Mining*, Panel Proceedings Series, Vienne, Autriche.

AIEA (1981), Technical Reports Series No. 209, *Current Practices and Options for Confinement of Uranium Mill Tailings*, Vienne, Autriche.

AIEA (1990), Technical Reports Series No. 310, *The Environmental Behaviour of Radium*, Vienne, Autriche.

AIEA (1991), Technical Reports Series No. 323, *Airborne Gamma Ray Spectrometer Surveying*, Vienne, Autriche.

AIEA (1992), Technical Reports Series No. 341, *Analytical Techniques in Uranium Exploration and Ore Processing*, Vienne, Autriche.

AIEA (1982), *Management of Wastes from Uranium Mining and Milling*, Proceedings Series, Vienne, Autriche.

AIEA (1989), *In Situ Leaching of Uranium: Technical, Environmental and Economic Aspects*, TECDOC-492, Vienne, Autriche.

AIEA (1993), *Uranium In Situ Leaching*, TECDOC-720, Vienne, Autriche.

AIEA (1995), *Guidelines for Comparative Assessment of the Environmental Impacts of Wastes from Electricity Generation Systems*, TECDOC-787, Vienne, Autriche (dont l'impact des activités d'extraction de l'uranium).

AIEA (1995), *Planning and Management of Uranium Mine and Mill Closures*, TECDOC-824, Vienne, Autriche.

AIEA (1996), *Guidebook on the Development of Regulations for Uranium Deposit Development and Production*, TECDOC-862, Vienne, Autriche.

ANNEXE 3

MEMBRES DU GROUPE CONJOINT AEN-AIEA SUR L'URANIUM

<i>Afrique du Sud</i>	M. B.B. HAMBLETON-JONES (Vice-Président du Groupe sur l'uranium M. L.C. AINSLIE M. R.G. HEARD	Atomic Energy Corporation of South Africa Ltd. Pretoria
<i>Allemagne</i>	M. F. BARTHEL (Président du Groupe sur l'uranium	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hanovre
<i>Argentine</i>	M. A. CASTILLO	Comisión Nacional de Energía Atómica Unidad de Proyectos Especiales de Suministros Nucleares, Buenos Aires
<i>Australie</i>	M. I. LAMBERT M. A. McKAY M. R. JEFFREE	Department of Primary Industries and Energy, Bureau of Resource Sciences Canberra Australian High Commission London
<i>Belgique</i>	Mme. F. RENNEBOOG	Synatom, Bruxelles
<i>Brésil</i>	Mme. E.C.S. AMARAL M. S. SAAD M. H.A. SCALVI	Instituto de Radioproteção e Dosimetria (CNEN/IRD), Rio de Janeiro Comissão Nacional de Energia Nuclear (COMAP/CNEN), Rio de Janeiro Indústrias Nucleares do Brasil S/A – INB Poços de Caldas

<i>Canada</i>	M. R.T. WHILLANS	Division de l'Uranium Ressources Naturelles Canada Ottawa
<i>Chine</i>	M. R. ZHANG	Bureau des mines et de la métallurgie Société nucléaire nationale de Chine (CNNC), Beijing
<i>Égypte</i>	M. A.B. SALMAN	Autorité chargée des matières nucléaires El-Maadi, Le Caire
<i>Espagne</i>	M. J. ARNÁIZ DE GUEZALA	Empresa Nacional del Uranio S.A. (ENUSA), Madrid
<i>États-Unis</i>	M. J. GEIDL (Vice-Président du Groupe sur l'uranium)	Energy Information Administration US Department of Energy Washington
	M. W. FINCH	US Geological Survey Denver
<i>Finlande</i>	Dr. K. PUUSTINEN	Département de géologie économique Bureau de recherches géologiques de Finlande, Espoo
<i>France</i>	M. J-L. BALLERY (Vice-Président du Groupe sur l'uranium) Mme F. THAIS	Commissariat à l'Énergie Atomique Centre d'Études de Saclay Saclay
<i>Grèce</i>	M. D.A.M. GALANOS	Institut de géologie et de minéralogie Athènes
<i>Hongrie</i>	M. G. ÉRDI-KRAUSZ (Co-Président du Groupe de travail)	Mecsekuran Ltd. Pécs
<i>Inde</i>	Dr. C.K. GUPTA	Bhabha Atomic Research Centre Mumbai, Bombay

<i>Inde</i> <i>(suite)</i>	M. K.K. DWIVEDY	Atomic Minerals Division Department of Atomic Energy Hyderabad
<i>Iran</i>	M. A.G. GARANKANI M. S.M.R. AYATOLLAHI M. M.H. MASHAYEKHI	Organisation de l'énergie atomique d'Iran Téhéran
<i>Japon</i>	M. H. MIYADA	Geotechnics Development Section Tono Geoscience Centre Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corp. (PNC), Toki-shi Tokyo
	M. K. NORITAKE	Bureau de la PNC à Paris, Paris (France)
<i>Jordanie</i>	M. S. AL-BASHIR	Jordan Phosphate Mines Company Amman
<i>Kazakstan</i>	M. G.V. FYODOROV	Agence de l'énergie atomique du Kazakstan Almaty
<i>Lituanie</i>	M. K. ZILYS	Représentant permanent par intérim de la Lituanie auprès des Nations Unies Vienne, Autriche
<i>Maroc</i>	M. D. MSATEF	Centre d'Études et de Recherches des Phosphates Minéraux Casablanca
<i>Mongolie</i>	M. T. BATBOLD	Uranium Co., Ltd. Ulaanbaatar
<i>Namibie</i>	M. H. ROESENER	Geological Survey Ministry of Mines and Energy Windhoek

<i>Ouzbékistan</i>	M. N.S. BOBONOROV	Comité d'État chargé de la géologie et des ressources minérales de la République d'Ouzbékistan, Tachkent
	M. S.B. INOZEMTSEV	Combinat minier et métallurgique de Navoï, Navoï
<i>Pakistan</i>	M. M.Y. MOGHAL	Atomic Energy Minerals Centre Lahore
<i>Pays-Bas</i>	M. J.N. HOUDIJK	Ministère des Affaires économiques La Haye
<i>Philippines</i>	Mme. P.P. GARCIA	Ambassade des Philippines Pretoria (Rép. d'Afrique du Sud)
<i>Portugal</i>	M. R. DA COSTA	Instituto Geologico e Mineiro Lisbonne
<i>Rép. Tchèque</i>	M. J. ŠURÁN (Vice-Président du Groupe sur l'uranium) M. J. BADAR M. J. MAKOVICKA	DIAMO s.p. Stráz pod Ralskem
	M. R. MAYER	Ministère de l'Industrie et du Commerce Prague
<i>Royaume-Uni</i>	M. N. JONES	Rio Tinto Mineral Services Ltd. Londres
<i>Russie, Féd. de</i>	M. A.V. BOITSOV	Institut russe de recherche sur la technologie chimique Moscou
	M. S.S. NAUMOV	Geologorazvedka Moscou
	M. A.V. TARKHANOV	Ministère de l'Énergie atomique de la Fédération de Russie, Moscou

<i>Suède</i>	Dr. I. LINDHOLM (Président du Groupe de travail)	Swedish Nuclear Fuel & Waste Management Co. Stockholm
<i>Suisse</i>	M. R.W. STRATTON	Nordostschweizerische (NOK) Kraftwerke AG Baden
<i>Turquie</i>	M. Z. ERDEMIR	Turkish Electricity Generation Ankara
<i>Ukraine</i>	M. A.Ch. BAKHARZHIEV	Entreprise géologique d'État « Kirovgeology », Kiev
	M. A.P. CHERNOV	Comité d'État de l'Ukraine sur l'utilisation de l'électronucléaire, (Goscomatom), Kiev
	M. B.V.SUKHOVAROV- JORNOVYI	Centre pour la science et la technologie dans le domaine énergétique, Kiev
<i>Commission européenne</i>	M. J-P. LEHMANN	Direction Générale XVII (Énergie) Énergie nucléaire, Bruxelles, Belgique
<i>AIEA</i>	M. D.H. UNDERHILL (Secrétaire scientifique)	Division du cycle du combustible nucléaire et de la gestion des déchets Vienne, Autriche
<i>OCDE/AEN</i>	M. I. VERA (Secrétaire scientifique)	Division du développement de l'énergie nucléaire, Paris (France)

PERSONNES AYANT CONTRIBUÉ À LA RÉDACTION ET À LA REVISION DU RAPPORT

M. S. NEEDHAM	Département de l'Environnement, Australie
M. M.I. RIPLEY	Conseiller (Nucléaire), Ambassade de l'Australie, Vienne
M. T. CHUNG	Energy Information Administration US Department of Energy

ANNEXE 4

LISTE DES ORGANISMES AYANT CONTRIBUÉ AU PRÉSENT RAPPORT

Allemagne	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Stilleweg 2, D-30655 Hannover
Afrique du Sud	Atomic Energy Corporation, P.O. Box 582, Pretoria 0001
Argentine	Comisión Nacional de Energía Atómica, Unidad de Proyectos Especiales de Suministros Nucleares, Avenida del Libertador 8250, 1429 Buenos Aires
Australie	Bureau of Resource Sciences, P.O. Box E 11, Kingston ACT 2604 Office of the Supervising Scientist, Level 2, Tourism House, 40 Blackal Street, Barton ACT 2600
Brésil	Instituto de Radioproteção e Dosimétrica, Av. Salvador Allende, S/N - Via 9, CP 37750, 22780 - 160 Rio de Janeiro Industrias Nucleares Do Brazil S/A - INB, P.O. Box 961, 37701-970 Poços de Caldas - MG
Canada	Division de l'uranium, Ressources Naturelles Canada, 580 Booth Street, Ottawa, Ontario K1A 0E4
Chine	Bureau des mines et de la métallurgie, Société nucléaire nationale de Chine (CNNC), P.O. Box 2102-9, Beijing 100822
Espagne	ENUSA, Santiago Rusiñol 12, E-28040 Madrid
États-Unis	Energy Information Administration, Coal, Nuclear, Electric and Alternate Fuels (EI- 50), U.S. Department of Energy, Washington, D.C. 20585
Finlande	Bureau de recherches géologiques de Finlande, P.O. Box 96, FIN-02151 Espoo
France	Commissariat à l'Énergie Atomique, Centre d'études nucléaires de Saclay, F-91191-Gif-sur-Yvette Cédex
Gabon	Ministère des Mines, de l'Énergie et du Pétrole, B.P. 874, Libreville
Hongrie	Mecsekurán LLC, P.O. Box 65, Kövágószőlös 0165, H-7614 Pécs

Inde	Atomic Minerals Division, Department of Atomic Energy, 1-10-153-156, Begumpet, Hyderabad 500 016
Japon	Bureau de la PNC à Paris, 4-8 rue St Anne, F-75001 Paris
Jordanie	Natural Resources Authority, P.O. Box 7, Amman Jordan Phosphate Mines Co., P.O. Box 30, Amman
Kazakstan	Agence de l'énergie atomique, 13 Republic Square, 480013 Almaty
Namibie	Geological Survey of Namibia, P.O. Box 2168, Windhoek
Niger	Ministère des Mines et de l'Énergie, Direction des Mines, B.P. 11700, Niamey
Ouzbékistan	Entreprise géologique d'État « Kyzyltepageologia », 7a, Navoi Street, 700000 Tachkent
Portugal	Ministério da Indústria e Energia, Instituto Geológico e Mineiro, Rua Almirante Barroso, 38, P-1000 Lisbon
Russie, Féd. de	Ministère de l'Énergie atomique de la Fédération de Russie, Ministère de l'Énergie atomique, 33 Kashirskoye Shosse, 115230 Moscou
Suède	Société suédoise de gestion du combustible et des déchets nucléaires (SKB), P.O. Box 5864, S-102 40 Stockholm Studsvik Eco & Safety AB, S-611 45 Nyköping
Rép. tchèque	DIAMO s.p., 47127 Stráz pod Ralskem
Ukraine	Comité d'État de l'Ukraine sur l'utilisation de l'électronucléaire (Goscomatom), Arsenalnaya str. 9/11, Kiev 252011

LES ÉDITIONS DE L'OCDE, 2, rue André-Pascal, 75775 PARIS CEDEX 16
IMPRIMÉ EN FRANCE
(66 1999 09 2 P) ISBN 92-64-27064-7 – n° 50874 1999