

# Sûreté radiologique professionnelle dans les mines et les usines de traitement d'uranium

par J.U. Ahmed\*

Les industries d'extraction et de traitement d'uranium connaissent une croissance rapide dans de nombreux pays et cette tendance se poursuivra vraisemblablement en raison de la demande croissante de combustible nucléaire. Les problèmes relatifs aux risques radiologiques que présente cette étape du cycle du combustible nucléaire ont été largement étudiés ces dernières années en raison de la fréquence du cancer du poumon chez les mineurs d'uranium, surtout les fumeurs. Le danger ne se limite pas aux seules mines d'uranium: des recherches ont montré que les mêmes éléments radioactifs responsables des cancers du poumon constatés chez des mineurs d'uranium, à savoir le radon et ses produits de désintégration, sont présents dans d'autres types de mines, parfois en concentration suffisante pour provoquer des maladies professionnelles.

Dans les mines d'uranium, les risques radiologiques sont essentiellement dus aux radionucléides en suspension dans l'air, à savoir le radon et ses produits de filiation de courte période,  $^{218}\text{Po}$ ,  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$  et  $^{214}\text{Po}$ . Le radon ( $^{222}\text{Rn}$ ) est un gaz inerte, qui donc entre et sort librement du poumon avec fixation minimale par le système respiratoire. D'autre part, les produits de filiation du radon sont des solides qui peuvent se fixer sur des particules de poussière en suspension dans l'air. Quand ils sont inhalés, les produits de filiation du radon se déposent principalement dans les voies respiratoires; le lieu précis du dépôt dépend de la taille des particules. L'importance de la dose reçue par le système respiratoire est fonction de la concentration des produits de filiation du radon dans l'air inhalé, de la taille des particules de poussière sur lesquelles ils se fixent, et de paramètres physiologiques. On pense que les atomes isolés (connus sous le nom de produits de filiation du radon non combinés) se déposent préférentiellement dans les passages supérieurs des voies respiratoires, là où la plupart des cancers du poumon apparaissent chez les mineurs. La proportion de produits de filiation du radon non combinés est faible: une étude a montré qu'elle varie entre 0,002 et 0,12; plus de la moitié des valeurs sont inférieures à 0,03.

Les substances radioactives en suspension dans l'air d'une mine contiennent également des radionucléides de longue période qui appartiennent aux familles  $^{238}\text{U}$  et  $^{235}\text{U}$ .  $^{238}\text{U}$ ,  $^{234}\text{U}$ ,  $^{230}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  et  $^{210}\text{Po}$  sont importants du point de vue de la contamination interne. Certains travaux de mine, comme le forage ou les tirs, projettent dans l'air des particules contenant ces nucléides de longue période qui, dans la plupart des minerais, sont proches de l'équilibre radioactif.

Dans les mines d'uranium, les risques de contamination externe sont dus aux rayonnements bêta et gamma émis par le minerai. Dans la plupart des mines, la contamination externe est généralement faible et ne pose pas de problème aigu. Dans les mines où la teneur du minerai est relativement élevée, la contamination externe présente en revanche un danger significatif.

Dans les usines de traitement de l'uranium, le radon et ses produits de filiation ne présentent généralement qu'un faible danger s'ils sont inhalés, à la différence des poussières de minerai et d'uranium; toutefois le radon peut être présent en concentrations significatives près des caissons à minerai et des circuits de concassage et de broyage. Les opérations qui dégagent de la poussière sont essentiellement le concassage, le broyage et la préparation du concentré final. Aux étapes initiales du traitement, concassage et criblage, les radionucléides de longue période sont généralement en équilibre, mais les opérations ultérieures perturbent cet équilibre. Pendant la phase de précipitation et de récupération, les solutions et les solides sont riches en uranium si bien que la radioactivité atmosphérique est principalement due à cet élément. Dans les aires de traitement des résidus, le  $^{230}\text{Th}$ , le  $^{226}\text{Ra}$  et le polonium sont les principaux radionucléides en suspension dans l'air.

L'exposition du personnel des usines de traitement aux rayonnements bêta et gamma est généralement comparable à celle des mineurs d'uranium. Toutefois, elle peut être beaucoup plus importante en certains endroits précis. L'irradiation externe varie d'une usine à l'autre, selon la teneur du minerai, la nature et la teneur des concentrés et la technologie du traitement; mais en général les dangers présentés par l'irradiation externe ne sont véritablement importants qu'aux étapes finales du traitement, précipitation, filtrage, emballage des concentrés et stockage. L'uranium fraîchement séparé est essentiellement un émetteur alpha, mais les activités bêta et gamma augmentent parallèlement à l'accumulation des produits de filiation. Après quelque 24 jours, l'activité bêta-gamma a atteint 50% de la valeur d'équilibre. Les niveaux de rayonnement dans la zone de stockage des concentrés augmente donc avec la durée du stockage.

Sans confinement suffisant et nettoyage régulier la contamination des surfaces risque d'accroître, par resuspension, la radioactivité atmosphérique. Ce problème se pose surtout de façon aiguë dans les zones où les concentrés sont manipulés, comme les installations de précipitation, de filtrage, de pesage et d'emballage. Les aires de traitement des résidus sont également sujettes à une contamination de surface importante. Les déchets radioactifs tant solides que

\* Membre de la Section de la sécurité radiologique de l'Agence, Division de la sûreté nucléaire.



Intérieur d'une mine souterraine d'uranium en Vendée (France).

liquides peuvent constituer une autre source de danger radiologique pour le personnel des mines et des usines de retraitement d'uranium. Les précautions particulières qu'il faut prendre, pour manipuler les déchets radioactifs en provenance des mines et des usines de traitement font l'objet de l'article qui suit dans le présent numéro du Bulletin de l'AIEA.

#### Limites de doses

Dans les mines et les usines de traitement d'uranium, le contrôle de l'exposition du personnel aux produits de filiation du radon est extrêmement importante. Pour les produits de filiation du radon, la limite est fixée à un équivalent de dose effectif de 50 mSv (5 rem) par an. La Commission internationale de protection radiologique (CIPR) a recommandé une limite (LAI) pour l'incorporation par inhalation des produits de filiation du radon 222, exprimée en termes d'énergie potentielle libérée par les éléments radioactifs inhalés. La limite proposée par la CIPR est de 0,02 joules par an. La valeur correspondante de la concentration dans l'air, exprimée dans une unité largement utilisée en pratique, est de 0,4 niveau opérationnel (Working level, WL). Le niveau opérationnel est la somme des énergies alpha libérées par la désintégration des produits de filiation du radon qui sont en équilibre avec une activité du radon de 3,7 Bq (100 pCi). Cette énergie est égale à  $1,3 \times 10^5$  MeV/l. Ainsi, un niveau opérationnel correspond à  $1,3 \times 10^5$  MeV d'énergie potentielle alpha dans un litre d'air, quelle que soit la proportion des produits de filiation du radon de courte période présents, à l'exclusion du radon. Si un travailleur est exposé à une concentration de produits de filiation du radon de 1WL pendant un mois de travail, l'irradiation est égale 1 niveau opérationnel-mois (Working level month,

WLM). Calculée en WLM, la limite annuelle est  $0,4 \times 12 = 4,8$  soit 5 WLM.

Le système de limitation de dose de la CIRP exige qu'on fasse la somme de l'irradiation externe et de l'incorporation de matières radioactives. Dans le cas des mines d'uranium, cela implique que l'inhalation du radon et de ses descendants soit maintenue à un niveau inférieur à la limite recommandée, l'écart étant fonction de l'exposition au rayonnement externe et aux poussières de minerai. La formule générale est:

$$\frac{H_E}{50\text{mSv}} + \frac{E_{RnD}}{0,02 \text{ J}} + \frac{E_{OD}}{1,3 \text{ Bqh l}^{-1}} \leq 1$$

où  $H_E$  = exposition externe, exprimée en équivalent de doses effectif (mSv);  
 $E_{RnD}$  = exposition aux produits de filiation du radon, exprimée en joules;  
 $E_{OD}$  = exposition aux poussières de minerai (autres que des produits de filiation du radon), exprimée en becquerels-heure par litre.

Les dénominateurs sont les limites annuelles correspondantes. La limite annuelle d'incorporation par inhalation de poussières de minerai respirables est de 1,3 becquerels-heure par litre ( $\text{Bqh l}^{-1}$ ).

Pour les besoins pratiques, d'autres limites sont souvent adoptées en plus des limites d'équivalent de dose primaires. Les limites autorisées sont fixées par l'autorité compétente ou par la direction d'un établissement et elles sont généralement inférieures aux limites primaires ou aux limites dérivées. Quand les limites autorisées sont spécifiées par la direction, on les appelle limites opérationnelles. L'autorité compétente peut établir des niveaux de référence pour l'une ou

l'autre des grandeurs déterminées dans le cadre des programmes de radioprotection, que ces grandeurs soient soumises ou non à des limites. Un niveau de référence ne constitue pas une limite; il sert à déterminer la conduite à tenir lorsque la valeur d'une grandeur dépasse le niveau de référence ou va le dépasser. Les niveaux de référence les plus couramment utilisés sont le niveau d'enregistrement, le niveau d'investigation et le niveau d'intervention. Le niveau d'enregistrement, pour l'équivalent de dose ou l'incorporation, est le niveau au dessus duquel le résultat de mesure est suffisamment intéressant pour qu'il vaille la peine de l'enregistrer et de le conserver. Le niveau d'investigation est le résultat de mesure indiquant une limite potentielle d'équivalent de dose ou d'incorporation au dessus de laquelle le résultat est considéré comme suffisamment important pour justifier des investigations supplémentaires. Le niveau d'intervention est un niveau prédéterminé au dessus duquel des mesures devraient être prises pour réduire le niveau de rayonnement ou mettre le personnel à l'abri d'une exposition à ce niveau de rayonnement jusqu'à ce que des mesures correctrices puissent être prises pour ramener le niveau de rayonnement à une valeur acceptable.

### Contrôle radiologique

Les objectifs principaux du contrôle radiologique sont d'évaluer les radioexpositions professionnelles par rapport à des normes admises et de fournir les données nécessaires pour une surveillance adéquate. En ce qui concerne le deuxième objectif, le contrôle radiologique peut permettre: de détecter et évaluer les principales sources de radioexposition; d'évaluer l'efficacité du matériel de surveillance; de détecter les anomalies d'exploitation, et de prévoir l'incidence des opérations futures sur les niveaux de contamination.

L'importance relative attribuée aux différents types de contrôle est fonction de la nature et de la gravité du risque. Dans les mines d'uranium, les produits de filiation du radon constituent le danger prédominant, et nécessitent donc un contrôle continu. Viennent ensuite, par ordre d'importance décroissant, l'irradiation externe puis les poussières de minerai. Dans les usines de traitement d'uranium, l'importance relative des risques varie selon les phases du traitement. Dans les zones de stockage, broyage et classification du minerai, les poussières de minerai représentent la source majeure de radioexposition, les produits de filiation du radon sont présents en concentration faible à modérée, et l'irradiation externe est minimale. Dans la zone des produits, la poussière des concentrés est la principale source de radioexposition, bien que l'intensité de l'irradiation externe puisse être suffisante pour justifier des mesures de surveillance; les produits de filiation du radon sont soit en quantité insignifiante soit absents. Dans les zones de traitement intermédiaire, rayonnement externe et radionucléides en suspension dans l'air sont détectables mais n'ont généralement qu'une faible importance.

L'exposition aux produits de filiation du radon par inhalation constitue le principal risque professionnel dans les mines d'uranium; ceci justifie que la part relativement la plus importante du programme de

contrôle radiologique lui soit consacrée. Dans les mines, le contrôle se fait presque uniquement par prélèvement manuel d'échantillons à brefs intervalles. Cette méthode n'indique les concentrations de radionucléides qu'à l'instant et au lieu de prélèvement; celui-ci doit donc être répété périodiquement partout où il faut connaître la valeur des concentrations moyennes.

Des appareils individuels de surveillance des produits de filiation du radon utilisant le principe du détecteur révélateur de traces ont été mis au point ces dernières années mais ils ne sont pas encore très répandus.

Les concentrations de poussières de minerai d'uranium dépendent essentiellement des opérations d'extraction, et l'exposition d'un mineur aux poussières de minerai peut être très largement fonction de sa proximité des sources de rayonnement. Il faut donc prélever les échantillons d'air au voisinage immédiat du mineur afin de mesurer l'irradiation avec précision; les concentrations de poussières de minerai étant assez faibles dans les mines, cette précaution n'est pas toujours nécessaire.

De manière analogue, le contrôle de la radioactivité atmosphérique dans les usines se fait essentiellement par ce type de prélèvement, mais on peut utiliser des échantillonneurs d'air individuels pour mesurer l'exposition individuelle aux poussières de minerai et de concentré. La plupart des contaminants en suspension dans l'air des usines proviennent de sources localisées; il en résulte de forts gradients de concentration au voisinage des points d'émission. La détermination des lieux de prélèvement présente donc un caractère plus critique que dans le cas d'une mine, et les mesures doivent être répétées avec une fréquence plus élevée en raison de variations plus accentuées. L'installation d'échantillonneurs d'air près des postes de travail peut s'imposer quand sont effectués des travaux en milieu poussiéreux (vidage des collecteurs de poussière, remplissage des fûts de concentrés, traitement des échantillons de poussières de minerai et de concentré), si les échantillonneurs individuels ne sont pas utilisés. L'irradiation externe est surveillée au moyen d'appareils de contrôle et de dosimètres individuels.

### Mesures de protection

Les dispositions qui garantissent des conditions de travail sûres sont fondamentalement les mêmes pour une mine d'uranium et une mine classique; toutefois, les propriétés particulières du radon et de ses descendants imposent des précautions spéciales, notamment en matière de ventilation. Pour une concentration donnée de radon, les concentrations de produits de filiation et par conséquent les risques augmentent rapidement avec le temps en raison de la courte période des descendants du radon. Ainsi, plus l'air contaminé est évacué rapidement hors des aires de travail, plus la concentration des produits de filiation du radon sera faible en un endroit donné. Par ordre d'importance, les principales méthodes de protection sont les suivantes: ventilation par dilution mécanique; confinement ou suppression de la source de rayonnement; protection individuelle et rotation des postes de travail. L'épuration de l'air pour en extraire les produits de filiation du radon est pratiquée à faible échelle; elle s'ajoute à la ventilation mécanique.





La bande transporteuse qui amène le minerai à l'usine de traitement de l'Ecarpière en Vendée (France).

Des systèmes primaires et auxiliaires de ventilation mécanique servent à diluer les concentrations de radon et de descendants du radon dans l'air de la mine. Les grosses soufflantes du système de ventilation primaire, généralement installées à la surface, injectent de l'air de dilution dans la mine. Celui-ci circule dans les puits et galeries avant de ressortir à l'extérieur. Les petites soufflantes et les conduites souples des systèmes auxiliaires redistribuent l'air provenant des galeries d'aération principales vers le sous-sol. Les systèmes auxiliaires sont renforcés, modifiés ou remplacés quand l'architecture de la mine se transforme.

Il est possible de confiner le radon et ses produits de filiation sur les chantiers dont l'exploitation est terminée et de les empêcher de pénétrer dans les zones de travail par des dispositifs d'obturation aussi étanches que possible. Le radon, soluble dans l'eau, se dégage des eaux d'infiltration quand elles rentrent en contact avec l'air de la mine. L'utilisation de conduites pour contenir ou détourner l'eau est également une technique de confinement utile. Si la roche est poreuse, on peut éviter que le radon ne se dégage des surfaces intérieures de la mine en soumettant l'atmosphère interne à une pression convenable. L'utilisation de revêtements s'est révélée utile pour l'obturation des pores et des fissures des surfaces rocheuses exposées.

Les équipements de protection individuelle, comme les respirateurs, sont utilisés au besoin dans les zones où la concentration de poussières dans l'air est élevée. Il est recommandé de procéder à la rotation des postes de travail dans les mines comportant des zones où l'irradiation externe est élevée, s'il n'est pas possible en pratique de recourir à d'autres moyens de protection.

Dans les usines de traitement, les mesures visant à protéger la santé des travailleurs diffèrent en degré et en nature de celles qui sont mises en œuvre dans les travaux

de mine. La protection est assurée en premier lieu par confinement, bien qu'on utilise aussi largement la méthode de ventilation par aspiration locale afin d'empêcher l'émission des poussières, gaz et fumées qui sont rejetés pendant les activités de traitement. Les opérations sont largement automatisées dans l'usine et elles minimisent ainsi le contact direct du personnel avec les matières dangereuses. Les méthodes de travail sont conçues pour réduire la probabilité d'émission de contaminants; un nettoyage méticuleux et régulier des surfaces permet de retirer les contaminants qui s'y sont accumulés.

La direction de l'exploitation doit exiger une hygiène personnelle rigoureuse de la part de tous les travailleurs dont les activités les mettent en contact avec des concentrés d'uranium. Elle doit exiger des employés qu'ils se lavent avant de manger ou de fumer, et qu'ils prennent une douche après chaque poste de travail. Les employés doivent également porter des gants quand ils manipulent directement des concentrés. Les réfectoires, salles de repos et vestiaires doivent être isolés des aires de travail, et permettre un accès facile aux installations de lavage.

La protection respiratoire individuelle n'est qu'un simple ajout aux mesures de sécurité collective. La première priorité consiste à maintenir les concentrations de radionucléides dans l'air ambiant des lieux de travail dans les limites autorisées. Toutefois, l'utilisation d'appareils respiratoires est nécessaire dans certaines circonstances (en général exceptionnelles): panne du système d'aéragage ou travaux d'entretien sans ventilation suffisante. L'utilisation d'appareils respiratoires est incompatible avec les travaux qui impliquent un effort physique soutenu ou une liberté complète de mouvements.

Tous les travailleurs des mines et des usines de traitement d'uranium doivent passer des examens médicaux avant de prendre leurs fonctions, ainsi que des examens ultérieurs à des intervalles appropriés. Les examens médicaux de préembauche et les examens périodiques devraient être tels qu'ils fournissent des renseignements sur l'état général du travailleur et permettent d'empêcher ou de détecter les changements qui pourraient être liés à sa radioexposition professionnelle.

Les examens de préembauche doivent être complets. En général, les examens périodiques devraient avoir lieu chaque année pour les travailleurs exposés aux rayonnements. Ils doivent comprendre l'examen de l'état général du travailleur, et l'examen spécialisé de certaines fonctions organiques. Un examen médical doit être pratiqué lorsque le contrat d'un employé prend fin.

### Améliorations nécessaires

Les technologies actuelles de contrôle et de protection permettent de garantir des conditions de travail sûres dans les mines et les usines de traitement d'uranium. Par comparaison avec d'autres technologies mises en œuvre dans l'industrie nucléaire, l'effort de recherche et de développement consacré au contrôle et à la sécurité dans les mines et usines de traitement d'uranium s'est avéré assez faible. Ces dernières années, cet effort s'est considérablement accru, mais de nombreuses améliorations restent à apporter à tous les aspects du contrôle radiologique et de la sécurité.