

Un manuel sur la production des radioisotopes au moyen de réacteurs de recherche est en préparation.

Les réunions régionales sur l'utilisation des réacteurs de recherche inscrivent toujours à leur programme la question de la production des radioisotopes, et un expert participe à son examen.

L'Agence rassemble des renseignements sur la sécurité des expériences effectuées à l'aide de réacteurs de recherche ; cette documentation sera particulièrement utile pour déterminer, par exemple, quels produits chimiques ou autres matières peuvent être irradiés sans danger et quels sont ceux qui comportent des risques.

CONDITIONS SANITAIRES DANS LES MINES D'URANIUM

Depuis une trentaine d'années, on se préoccupe beaucoup des problèmes de sécurité que posent l'extraction, le concassage et le traitement des minerais radioactifs. Il y a longtemps, cependant, que l'on avait déjà constaté un fort pourcentage de cancer du poumon parmi les mineurs des montagnes de l'Erzgebirge, près de la frontière germano-tchécoslovaque - régions mieux connues sous les noms de Schneeberg et de St. Joachimstal. En 1937, on commença à se pencher sur les cas mortels d'empoisonnement par le radium et les études faites semblent indiquer qu'il existait un rapport de cause à effet entre les substances radioactives et l'apparition de cancers du poumon et autres maladies.

Lorsque certains pays se mirent en toute hâte à la recherche du minerai d'uranium, de nouvelles mines furent ouvertes sans que l'on prit les mesures d'hygiène qui s'imposaient. Cette négligence résultait en partie des difficultés inhérentes à ce genre d'entreprise. Dans des régions telles que le plateau du Colorado aux Etats-Unis et certaines contrées d'Afrique du Sud, il était difficile de se procurer l'eau indispensable au dépoussiérage et l'on ne disposait pas sur place de l'énergie nécessaire aux dispositifs d'aé-
rage. La plupart de ces exploitations étaient très modestes et s'il fallait parcourir de longues distances pour y amener l'eau ou installer un matériel spécial d'aé-
rage, on y renonçait tout simplement.

Il faut bien dire que l'insuffisance de précautions - telles que nous les entendons aujourd'hui - était également due à l'ignorance. On était mal renseigné sur les substances toxiques que l'on pouvait rencontrer, qu'il s'agisse de leur nature, de leur présence éventuelle ou de leur concentration possible, et l'on ne savait pas encore ce qu'il fallait faire pour les rendre inoffensives. On ne comprenait pas davantage les effets physiologiques des substances radioactives et l'on ignorait comment elles attaquaient l'organisme.

C'est vers 1950 que l'on commença, dans plusieurs pays, à étudier de plus près les conditions régnant dans les mines et dans les usines de traitement de l'uranium. Les premiers résultats révélèrent la gravité de la situation dans la plupart des mines : l'exposition aux rayonnements était souvent beaucoup trop élevée. La présence de radon et d'une quantité excessive de poussières rendait les conditions particulièrement dangereuses dans certaines mines. En pareil cas, les premières mesures à prendre consistaient à améliorer l'aé-
rage et à éliminer plus efficacement la poussière, surtout par aspersion. On enregistrait immédiatement une certaine amélioration mais ce n'était encore que des dispositions provisoires.

De bonnes conditions de travail dans les mines d'uranium et dans les usines de traitement restent la base indispensable des précautions à prendre pour protéger la santé et assurer la sécurité (ventilation, protection contre la poussière, hygiène individuelle). Cependant, il faut aller plus loin ; il est indispensable, par exemple, de déterminer le degré de ventilation à assurer. A cette fin, il faut pouvoir mesurer exactement, non seulement la radioactivité ambiante, mais aussi la concentration des substances radioactives connues pour être particulièrement nocives. Ces mesures dépendent également de la connaissance des effets biologiques des différentes substances et de la forme sous laquelle elles pénètrent dans l'organisme. Lorsque le système de contrôle radiologique est mis en place, d'autres questions se posent, notamment la nécessité de soumettre le personnel à des examens médicaux fréquents, l'organisation d'un fichier, les mesures à prendre pour prévenir la contamination du milieu, et l'élaboration d'une réglementation publique.

Ces problèmes ont été étudiés par le Colloque sur la protection radiologique dans l'extraction et le traitement des minerais nucléaires, qui s'est réuni

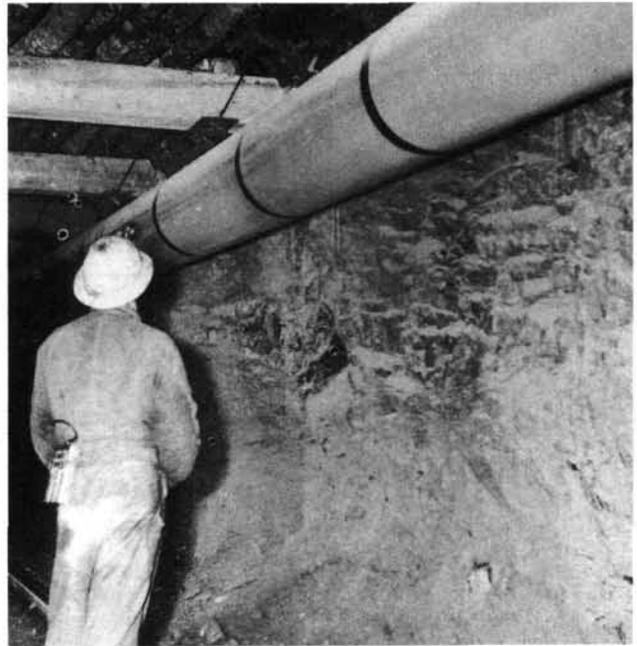
à Vienne du 26 au 31 août 1963; il était organisé par l'Agence internationale de l'énergie atomique, en collaboration avec le Bureau international du Travail et l'Organisation mondiale de la santé; environ 70 mémoires y ont été présentés. L'objet de cette réunion était de rassembler et de comparer les résultats des recherches et de l'expérience acquise dans ce domaine. L'une des conclusions importantes de ce colloque a été que le traitement du minerai d'uranium ne pose pas de problèmes exceptionnels. Si l'on prend toutes les précautions d'usage normalement prises dans le cas des autres minerais, l'irradiation peut être réduite au minimum. Les problèmes que pose l'extraction proprement dite commencent seulement à être clairement définis, mais il est d'ores et déjà prouvé que l'exposition des mineurs à des concentrations excessives de radon ne peut manquer d'avoir de très graves conséquences. La question est très complexe et de nombreux facteurs entrent en jeu, depuis le comportement physique des diverses substances radioactives jusqu'aux antécédents de chaque mineur. Les participants ont à maintes reprises souligné la nécessité de pousser les recherches plus avant dans ce domaine.

Faut-il incriminer le tabac ou la radioactivité ?

Les principaux risques d'irradiation encourus par les mineurs d'uranium et de thorium proviennent de gaz radioactifs, le radon et le thoron, et de leurs dangereux produits de filiation. Dans les mines d'uranium, le radon est un produit de désintégration du radium; le radon lui-même se désintègre rapidement en une série de produits solides. C. F. Smith (Canada) a décrit ce processus et précise que le radon est libéré lorsque l'on creuse dans le minerai contenant du radium et lorsque les eaux souterraines contenant le gaz en dissolution s'infiltrent dans la mine. Les concentrations varient et sont difficilement prévisibles. Les niveaux de radioactivité des substances en suspension dans l'air ne correspondent pas à la teneur du minerai; c'est dans les déblais que l'on a parfois trouvé les niveaux de radioactivité les plus élevés. De faibles ruissellements d'eaux souterraines chargées de radon peuvent produire, sans que l'on s'y attende, des concentrations très élevées; ces concentrations varient d'ailleurs rapidement selon la ventilation.

Pour déterminer si cette radioactivité aggrave les risques de cancer du poumon dans les mines d'uranium, les autorités des Etats-Unis ont entrepris en 1950 un programme d'étude à long terme des problèmes d'hygiène. Dès la fin de 1959, les résultats de cette étude permettaient d'affirmer que les mineurs d'uranium américains sont exposés à un plus grand risque de cancer mortel du poumon.

Les recherches sur le milieu d'une part, et sur les aspects médicaux du problème d'autre part, ont été menées parallèlement. En ce qui concerne la



Canalisation en polythène pour la ventilation des galeries de mine (Communication de C.F. Smith)

question du milieu, D. A. Holaday et H. N. Doyle (Etats-Unis) ont décrit les conditions de travail aux Etats-Unis, où l'extraction de l'uranium se trouve concentrée sur le Plateau du Colorado. Au plus fort de la production, environ 350 mines étaient en exploitation, la plupart comptant à peine dix hommes. Les routes n'étaient pas suffisamment aménagées et de nombreuses mines se trouvaient dans des régions désertiques dépourvues d'eau; en général, il n'y avait pas non plus d'électricité, si bien qu'on ne prenait pas toujours les précautions d'usage dans les mines de métaux. Il n'y avait aucun dispositif de ventilation mécanique et, même dans les mines de faible profondeur, l'aération naturelle était insuffisante pour ramener la concentration de radon à des niveaux acceptables. Cette situation fut jugée alarmante et l'on procéda, dans toutes les mines, à l'installation de systèmes de ventilation mécaniques qui s'avérèrent efficaces. On a constaté que, en 1952, 45 % environ des mineurs étaient exposés à des concentrations de substances radioactives dix fois supérieures aux niveaux actuellement admis. De grands efforts ont été faits en matière d'inspection et de contrôle, et la situation s'est nettement améliorée; toutefois, les concentrations sont encore trop élevées dans de nombreuses mines.

Pour ce qui est des aspects médicaux du problème, MM. V. E. Archer, B. E. Carroll, H. P. Brinton et G. Saccomanno (Etats-Unis) ont procédé à une analyse de l'état de santé des mineurs, basée sur les résultats des examens et des tests et sur les antécédents médicaux des intéressés. Cette analyse - encore incomplète - est d'autant plus complexe qu'il

faut tenir compte de facteurs tels que l'exposition aux poussières, l'usage du tabac, l'altitude, la race et l'âge. Etant donné que ces facteurs peuvent avoir des incidences sur les résultats des examens, il a fallu également les étudier. Les effets transitoires des rayonnements peuvent être attribués au niveau de radioactivité auquel les mineurs sont exposés; les effets cumulatifs d'une exposition continue à des rayonnements de faible intensité sont plus probablement fonction du nombre d'années de travail passées au fond. Comme il a semblé évident que l'usage du tabac était accompagné de symptômes analogues à ceux de l'irradiation, il a fallu également en tenir compte. On a étudié le rapport entre le nombre de cigarettes fumées par jour et les effets transitoires, et l'on a cherché à déterminer si la quantité de tabac consommée par chaque individu au cours de ses années d'activité pouvait provoquer des symptômes analogues à ceux d'une exposition continue à des rayonnements de faible intensité. On a ainsi constaté que la prédisposition à l'essoufflement était fonction de l'intensité des rayonnements, de l'âge et de la quantité totale de tabac consommé. La toux persistante a été attribuée au niveau du rayonnement, au nombre d'années de travail passées au fond, à l'âge et la consommation journalière de cigarettes. Compte tenu des complications dues à ces divers facteurs, les auteurs sont parvenus à la conclusion que le travail au fond produisait les symptômes suivants : présence de cellules suspectes dans les expectorations, prédispositions à l'essoufflement, toux persistante et affection pulmonaire accompagnée parfois d'une respiration sifflante et de douleurs dans le thorax. Il y a de bonnes raisons de penser que ces symptômes doivent être attribués à l'irradiation, mais le phénomène mérite une étude plus approfondie.

Evaluation des risques

Pour évaluer les risques, il ne suffit pas de connaître le taux de concentration des matières radioactives. Mme V. S. Kouchneva (URSS) a présenté une étude de l'action combinée des poussières de quartz et du radon sur l'évolution de la pneumoconiose (affection pulmonaire des mineurs). Des expériences pratiquées sur des rats blancs ont montré que les symptômes cliniques étaient les plus graves chez les animaux soumis à l'action simultanée de la poussière de silice et du radon. La présence de poussières dans les poumons augmente le risque de rétention des substances radioactives dans l'organisme. Des examens analogues ont été décrits par L. Lafuma et M. Medjedović (Yougoslavie) qui ont conclu que lorsque l'on respire un air chargé de poussière et pollué par le radon, la contamination est plus grande du fait que l'on inhale une plus forte proportion de dépôt actif de courte période dont les composants émetteurs alpha sont particulièrement nocifs en pareilles circonstances. Bien que la plupart des produits de filiation du radon soient de courte période, ils sont une source importante de

contamination dans les mines où les travailleurs sont obligés de respirer un air contaminé pendant huit heures consécutives. Les auteurs ont donc conclu que pour évaluer le danger d'irradiation dans les mines d'uranium, il ne suffit pas de mesurer seulement le rayonnement du radon et des poussières actives de longue période; il faut aussi mesurer les doses de rayonnement du dépôt actif de courte période. MM. W. J. Bair, B. O. Stuart, J. F. Park et W. J. Clarke (Etats-Unis) ont mis en évidence un autre facteur dont il faut tenir compte, qui est en rapport avec les propriétés physique et chimique des particules inhalées, lesquelles influent sur le comportement des substances dans l'organisme après leur dépôt. Il s'agit de la vitesse de migration des particules dans l'organisme qui est d'autant plus grande que les particules sont plus petites.

M. H. L. Kusnetz (Etats-Unis) a estimé que pour déterminer les doses d'irradiation reçues par les travailleurs, il était nécessaire de mesurer avec précision les produits de filiation du radon. Les méthodes de radioprotection ne sont applicables que si l'on a la possibilité de mesurer les concentrations du radon, du thoron et de leurs produits de filiation. Les mesures in situ ne sont guère faciles en raison de la forme sous laquelle les substances contaminantes sont présentes dans l'air, à cause des courtes périodes de certains radioisotopes, de la contamination des instruments et du manque de connaissances précises sur le mécanisme des lésions physiologiques. Les contaminants peuvent être, soit la substance mère, soit des atomes libres provenant de sa désintégration, ou encore des particules de poussières véhiculant des produits de filiation.

Tout en reconnaissant que les produits de filiation sont le principal danger, M. J. R. Stewart (Australie) a fait remarquer que la concentration du radon dans l'atmosphère est la seule valeur que l'on puisse mesurer sans faire appel sur place à un personnel et à un matériel spécialisés. En Australie, les taux de concentration du radon ont été mesurés en laboratoire sur des échantillons prélevés à la mine et transportés dans des bouteilles métalliques sous pression à des distances pouvant atteindre 3 000 kilomètres.

MM. F. Billard et J. Miribel (France) ont comparé deux méthodes de contrôle fondées respectivement sur la mesure de la concentration du radon et sur l'activité des produits de filiation recueillis sur un filtre. Ils ont conclu que c'est la méthode américaine consistant à mesurer l'énergie libérée par ces substances au cours de leurs désintégrations successives qui permet d'évaluer exactement le danger. Il est souhaitable de procéder à des mesures complémentaires et, si les résultats sont ainsi confirmés, on peut considérer la méthode (qui ne tient pas compte des différences de comportement des diverses particules) comme tout à fait acceptable. Les auteurs es-

timent que les procédés de mesure de la concentration du radon utilisés en France tendent à surestimer le danger, mais qu'il est possible d'appliquer un facteur de correction pour chaque secteur de la mine ; on peut ainsi continuer d'utiliser cette méthode qui est plus simple et permet de procéder à des mesures plus nombreuses.

Mesures de protection

En ce qui concerne la protection des travailleurs dans les mines, MM. M. Avril et J. Pradel (France) recommandent les mesures générales suivantes :

Bouchage hermétique des galeries non utilisées

Elimination des eaux d'infiltration

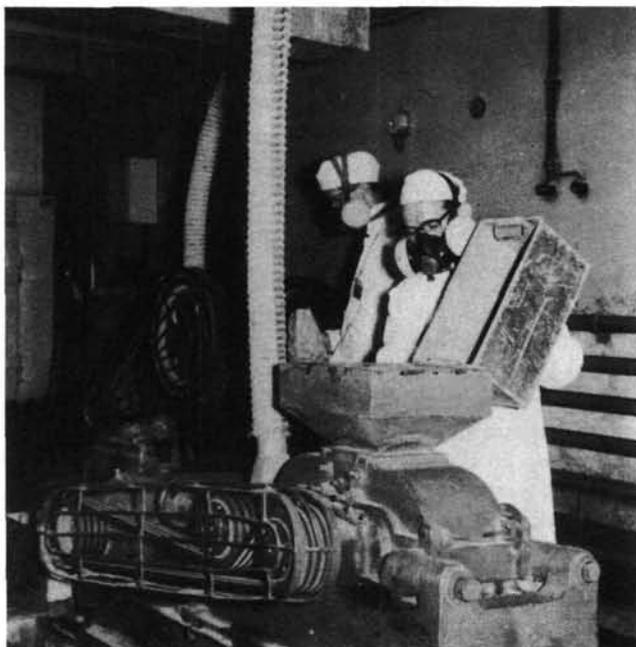
Aéragé puissant

Elimination des poussières par les moyens habituels

Il peut être nécessaire de renforcer ces mesures par une protection individuelle. En France, on a essayé d'utiliser des masques anti-poussières, des masques à gaz (militaires), des cagoules à alimentation d'air pur indépendante et des appareils à bouteilles d'oxygène ou d'air comprimé. Ces appareils trop encombrants ont été abandonnés sauf dans les cas où le travail est de courte durée et n'exige pas de gros efforts physiques.

Des principes analogues s'appliquent aux usines de traitement et de calcination des minerais. M. J. L. Saconney (France) a décrit une usine qui produit des

Broyage du minéral d'uranium dans une usine en Yougoslavie (Communication de M. Kacarevic)



concentrés d'uranium titrant 60 à 65 % de métal. La protection dans les sections de concassage, de broyage et de traitement chimique ne pose pas de grave problème du fait que les quantités de radon dégagées restent faibles ; la production et le conditionnement du concentré séché exigent en revanche des mesures strictes de protection contre les poussières radioactives. M. S. R. Rabson (Afrique du Sud) a exposé ce même problème qui se pose dans une usine centrale où des boues d'uranium concentré sont séchées et calcinées pour être finalement transformées en oxyde pulvérulent. Certaines opérations sont exécutées en milieu isolé ou sous des hottes aspirantes. Certaines installations sont complètement isolées et l'air est constamment évacué de l'enceinte par aspiration. En outre, on veille à une propreté minutieuse du sol, des vêtements, etc., ce qui permet d'obtenir une amélioration sensible. M. G. C. Eichholz (Canada) a décrit une usine d'acier à l'uranium qui produit des billettes contenant jusqu'à 0,5 % d'uranium, où l'on a pu, grâce à une bonne ventilation, prévenir les concentrations dangereuses d'uranium lors du coulage et du laminage. En revanche, les opérations d'usinage exigent, non seulement une ventilation locale énergique, mais encore le port d'un masque.

Les appareils respiratoires ne font que compléter les moyens mécaniques de protection ; il faudra toujours chercher avant tout à prévenir la contamination de l'air. M. E. C. Hyatt (Etats-Unis) a signalé que dans certaines circonstances il est indispensable, néanmoins, d'utiliser des appareils respiratoires, notamment :

- Lors d'une nouvelle opération, tant qu'une ventilation efficace n'est pas assurée ;
- Pendant les opérations normales de broyage et aux points de transfert du minerai, notamment par temps sec, lorsque sa teneur en eau est faible ;
- Lors du pesage et du transvasement du produit fini ;
- Pendant les travaux d'entretien ou en cas de panne du dispositif de ventilation ;
- Lors de la manutention de produits chimiques de traitement.

Le choix d'un appareil respiratoire, indique l'auteur, exige des connaissances précises ; les résultats que l'on obtiendra avec ces appareils dépendront essentiellement de ce choix, de l'ajustement des appareils, de la façon dont on aura enseigné l'usage, de leur contrôle, du service central de nettoyage, de l'inspection et de l'entretien, de l'entreposage et du contrôle médical.

Passant à la question plus générale de la contamination du milieu ambiant, MM. E. C. Tsvoglou et C. E. Sponagle (Etats-Unis) ont décrit comment, vers la fin des années 40, on s'est rendu compte que le radioélément le plus dangereux parmi les déchets des usines d'uranium était le radium-226. En 1950,



Masques respiratoires assurant une protection suffisante contre les poussières dans les usines de traitement de l'uranium
(Communication de E.C. Hyatt)

on a commencé à prélever des échantillons du milieu aquatique. Depuis lors, on a fait de nombreuses études qui ont fourni de précieux renseignements sur le contrôle et la surveillance des divers milieux ambiants. Les méthodes employées comportent notamment le contrôle de l'eau, des sédiments, de la flore et de la faune aquatiques (algues, insectes, poissons) et d'autres milieux tels que les effluents d'usines, le sol et les cultures.

Les normes de sécurité sont parfois trop strictes

Traitant de la nécessité d'examens médicaux réguliers, M. J. Chameaud (France) considère que la protection contre les gaz et les poussières est aujourd'hui suffisamment efficace pour qu'il soit inutile

de systématiser des analyses le plus souvent négatives. Cependant, les systèmes de protection, et plus particulièrement la ventilation, favorisent l'infection des voies respiratoires supérieures et l'apparition de rhumatismes; il est donc indispensable de procéder à des examens périodiques. M. G. C. Freed (Afrique du Sud) a donné un compte rendu des observations faites pendant une dizaine d'années sur des travailleurs employés dans plusieurs usines de réduction de l'uranium et dans une usine de calcination de l'uranium. Les résultats se sont révélés satisfaisants, mais l'auteur insiste sur la nécessité d'établir des dossiers médicaux pour les ouvriers professionnellement exposés, étant donné le peu que l'on sait sur les effets à long terme de l'exposition des travailleurs aux rayonnements de faible intensité.

Au sujet des règlements de protection et de l'application de normes de sécurité, M. M. Dousset (France) a souligné que ces règlements doivent se fonder sur les principes généraux que recommande la Commission internationale de protection radiologique. Ils doivent déterminer, pour chaque organe, les doses maximums admissibles par trimestre et par an, prévoir l'établissement d'un service de sécurité responsable de la ventilation et de l'application des mesures de protection, et prescrire un contrôle radiologique de zone et individuel ainsi qu'une sélection et une surveillance médicales du personnel. M. G. Walinder (Suède), parlant des concentrations maximums admissibles de radon et de thoron, a fait ressortir que les normes doivent tenir dûment compte de tous les facteurs pertinents. L'emploi de l'énergie atomique comporte des risques nouveaux dont la contrepartie doit être une protection sanitaire efficace. L'utilisation de combustibles fossiles entraine la pollution de l'eau que nous utilisons et de l'air que nous respirons, ce qui provoque des affections des voies respiratoires dans les régions fortement industrialisées. Il serait fort regrettable, a souligné M. Walinder, qu'en fixant des doses de tolérance trop faibles on entrave sérieusement l'utilisation de l'énergie atomique. En déterminant les concentrations maximums admissibles, il ne faut pas se fonder uniquement sur des évaluations physiques ou biologiques. Le calcul d'une concentration maximum admissible est, à son avis, un périlleux exercice d'équilibriste.