

de notre débat) a également des répercussions sur la productivité. Les applications médicales des radioisotopes ont aussi un aspect économique, non seulement parce que le travailleur satisfait a une meilleure production, mais aussi parce que, prenant moins de congés de maladie, il peut produire davantage dans l'année. L'amélioration des techniques de

diagnostic au moyen du radioiode, la diminution des cas d'infection post-opératoire grâce à l'emploi de seringues hypodermiques stérilisées (maintenant livrées à la consommation en grande quantité par deux grandes usines construites au Royaume-Uni) sont des exemples typiques des facteurs qui contribuent ainsi à l'accroissement de la productivité.

ASPECTS ADMINISTRATIFS DE LA PRODUCTION DES RADIOISOTOPES

L'essor actuel de l'énergie atomique et les problèmes administratifs qu'il pose ont été examinés au cours des Journées d'études à l'intention des administrateurs d'établissements d'énergie atomique qui se sont tenues au Siège de l'Agence du 30 septembre au 4 octobre 1963. Cette réunion portait notamment sur les questions suivantes : radioprotection, radioisotopes et sources de rayonnements, réacteurs de recherche, énergie d'origine nucléaire, questions juridiques, gestion technique et scientifique, rôle des universités, rôle de l'Agence dans l'assistance aux pays en voie de développement.

Les possibilités de production de radioisotopes à l'aide des réacteurs de recherche ont été exposées par M. G. B. Cook (Division de la recherche et des laboratoires de l'Agence). On trouvera ci-dessous un résumé de sa communication. Un autre mémoire, présenté par M. U. V. Arkhanguelski (Union soviétique), fait l'objet d'un article distinct du présent numéro.

M. Cook a commencé son exposé en comparant la production des radioisotopes à l'aide de réacteurs de recherche aux méthodes de production appliquées par les grands fournisseurs. La plupart des radioisotopes livrés par ces derniers sont obtenus dans des réacteurs ralentis au graphite, où le flux de neutrons est de l'ordre de 10^{12} n/cm².s et qui fonctionnent 24 heures par jour, en règle générale six jours par semaine. Est-il possible de réaliser les mêmes conditions dans les réacteurs de recherche ? La plupart d'entre eux offrent un espace suffisant - bien qu'en général moins grand que dans les réacteurs de production de radioisotopes - avec un flux de 10^{12} n/cm².s ; c'est le régime d'exploitation qui crée des difficultés, car il n'est pas habituellement établi sur la base d'une journée de 24 heures. Il faut trois fois plus de temps pour produire la même activité spécifique dans un réacteur fonctionnant huit heures par jour qu'il n'en faudrait s'il était exploité pendant 24 heures ; pour les radioisotopes de courte période, le facteur est supérieur à trois, du fait de la désin-

tégration pendant l'arrêt du réacteur. Une production régulière est difficile à assurer si l'on ne dispose pas des neutrons en permanence, comme c'est le cas pour beaucoup de réacteurs de recherche.

Au cours des premières années qui ont suivi l'introduction des méthodes radioisotopiques, les radioéléments étaient essentiellement produits à des fins médicales. En règle générale, il est possible de répondre aux besoins industriels et autres sans dépasser le cadre de cette production. Les radioisotopes les plus utilisés se répartissent en deux catégories : sources scellées, qui n'exigent aucun traitement après irradiation ; sources non scellées, qui nécessitent une préparation.

Les sources scellées peuvent être destinées à la médecine (application interne) ou à l'industrie. Les sources employées à des fins médicales doivent normalement avoir une intensité de l'ordre de 1 à 5 mc : or-198 sous forme de grains ; iridium-192, tantale-182 et cobalt-60 sous forme de fils. Pour obtenir une activité correspondant à 2,5 mc de chacun de ces radioéléments à l'aide d'un flux de neutrons de 10^{12}

Réacteur de recherche de 10 kW, au fond d'un puits de 6 m, rempli d'eau. Il est pourvu d'un porte-échantillons rotatif pour la production de radioisotopes (photo General Atomic)



$n/cm^2.s$ dans un réacteur fonctionnant 24 heures par jour et six jours par semaine, il faut quatre heures pour les deux premiers, une et deux semaines respectivement pour les autres. Quel que soit le régime d'exploitation d'un réacteur de recherche, la production des deux premiers radioéléments ne posera aucun problème, mais les durées d'irradiation nécessaires pour obtenir les deux autres se trouveront sensiblement prolongées selon le régime adopté.

Parmi les sources employées dans l'industrie figurent les radioéléments utilisés pour la radiographie, dont les plus communs sont l'iridium-192, le cobalt-60 et le thulium-170. Des intensités de l'ordre de 500 mc ou plus sont très fréquentes et les activités spécifiques nécessaires peuvent atteindre, voire dépasser 1 000 mc/g. Même lors d'un fonctionnement continu à $10^{12} n/cm^2.s$, le cobalt exige un an environ pour atteindre ce degré d'activité. L'iridium est plus avantageux et exige, dans les mêmes conditions, une irradiation inférieure à une semaine. Le thulium-170 occupe une position intermédiaire. La question de savoir s'il est rentable d'irradier le thulium et le cobalt dans un réacteur de recherche dépend du régime d'exploitation.

Dans le cadre d'un programme industriel, il faut irradier des sources de types divers dont beaucoup sont destinées à l'analyse par activation; dans ce dernier cas, la durée d'irradiation s'exprime en heures plutôt qu'en semaines. Les sources doivent être soigneusement scellées de manière à éviter tout bris ou toute fuite pouvant endommager le réacteur.

En médecine, on utilise communément le cobalt-60 et le césium-137 comme sources intenses pour la téléthérapie. Les quantités requises étant de l'ordre de 1 000 curies, il est hors de question de produire du cobalt-60 dans un réacteur de recherche. Le césium-137 est utilisé en quantités analogues; il est obtenu à partir de grandes quantités de produits de fission qui ne peuvent s'accumuler que dans très peu de pays.

Les radioisotopes préparés ne sont pratiquement employés que dans le traitement médical. Un facteur important est la quantité susceptible d'être utilisée. Elle n'est pas facile à déterminer, mais les données numériques fournies par cinq pays, qui ne figurent pas parmi les principaux producteurs de radioisotopes mais sont des utilisateurs depuis plusieurs années, ont permis d'établir les chiffres ci-après (besoins annuels par 10 millions d'habitants) :

Iode-131	5 à 10 curies
Or-198 (colloïdal)	5 à 10 curies
Phosphore-32	1 à 2 curies
Chrome-51	100 à 150 millicuries
Sodium-24	environ 100 millicuries
Fer-59	2 à 5 millicuries
Soufre-35	jusqu'à 200 millicuries
Carbone-14	jusqu'à 50 millicuries

Les trois premiers radioisotopes sont manifestement les plus importants et leur production mérite d'être envisagée. Les pertes dues au traitement chimique et à la désintégration sont de l'ordre de 50 %, de sorte qu'il faut irradier près du double de la quantité exigée pour pouvoir les compenser. Dans l'hypothèse d'un régime d'exploitation favorable (huit heures par jour et six jours par semaine), la quantité de matière-cible nécessaire pour produire de l'iode-131 et du phosphore-32 est de l'ordre de plusieurs centaines de grammes. Dans une hypothèse moins optimiste, les quantités deviennent plus grandes et la production est sans aucun doute difficile. L'or est un peu plus avantageux, en raison de sa section efficace élevée, et l'on peut considérer que la production de radioor est possible. En outre, la préparation de ces radioisotopes exige des laboratoires bien conçus de chimie des corps radioactifs, dont la construction et l'exploitation sont onéreuses.

C'est pour la production de radioisotopes de courte période, dont l'importation est impossible, que les réacteurs de recherche sont particulièrement utiles. Lorsque la production n'exige qu'une irradiation de courte durée, elle est parfaitement réalisable dans un réacteur de recherche, et la préparation chimique est en général relativement simple.

Un programme de production régulière pose de nombreux problèmes. Il faut toujours avoir à sa disposition toutes sortes de récipients pour l'irradiation, l'entreposage et l'expédition; il faut avoir pour le moins un double jeu d'instruments afin qu'une panne ne puisse pas arrêter la production; il faut aussi prendre les dispositions nécessaires pour le transport et le dédouanement; il faut tenir une comptabilité très détaillée. Les sources à usage médical doivent répondre à certaines normes spéciales, ce qui peut également susciter des difficultés. Enfin, il faut réduire au minimum les écritures demandées aux clients et être en mesure de répondre à des demandes exceptionnelles.

L'importation de tous les produits figurant dans le catalogue de l'un des grands fournisseurs reviendrait à 10 000 dollars si l'on faisait une commande unique des quantités minima pour livraison à 10 000 kilomètres. Il serait très difficile de produire cette quantité de matières pour le même prix; mais, à côté des aspects purement financiers de la question, il faut tenir compte d'autres facteurs importants: développement de la main-d'oeuvre spécialisée et des techniques scientifiques, exploitation plus rationnelle du réacteur, indépendance des fournisseurs étrangers, etc.

Les mesures que l'Agence a prises dans le domaine de la production des radioisotopes sont de trois sortes :

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 semblèrent 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