

EMPLOI DES RADIOISOTOPES EN HYDROLOGIE

On dit souvent que, de tous les biens, le plus important pour les collectivités humaines est l'eau. Il n'est évidemment pas possible de classer les nécessités de la vie d'après leur utilité - la lumière solaire, par exemple, est elle aussi importante. Cependant, il est vrai que l'eau est inégalement répartie à la surface du globe et que là où elle manque l'homme ne peut généralement pas se fixer. En outre, dans les régions où l'eau est rare, les conditions de vie peuvent certainement s'améliorer si les ressources en eau augmentent.

Ce fait est reconnu depuis des siècles et, dans l'antiquité, l'art d'aménager les eaux était considéré un peu comme la clé du progrès. A cette époque, la majeure partie de l'eau utilisée par l'homme provenait des cours d'eau avoisinants, mais on tirait aussi de l'eau des endroits les plus accessibles du sous-sol.

De nos jours, on a de plus en plus recours aux eaux souterraines, ce qui présente des avantages, mais crée aussi des problèmes. Les ressources en eaux souterraines ne sont manifestement pas inépuisables et, si l'on veut établir des plans judicieux, il faut déterminer jusqu'à quel point elles doivent être exploitées. On se heurte alors à certaines difficultés. Bien que l'hydrologie, en tant que science et art de l'ingénieur, se soit développée rapidement, elle a, jusqu'à une époque récente, manqué des instruments nécessaires pour explorer à fond les eaux souterraines. Les méthodes hydrologiques classiques, par exemple, ne permettent pas, en général, d'évaluer le rythme auquel les nappes d'eaux souterraines se renouvellent et, dans de nombreux cas, il est difficile, voire impossible, d'estimer la quantité d'eau souterraine accumulée dans une certaine région. Aussi les hydrologues se trouvent-ils souvent en face de deux problèmes : quelle est la quantité d'eaux souterraines d'une région et quel est son taux de renouvellement. Il semble que l'emploi des radioisotopes permettra de résoudre ces problèmes.

Dans les études hydrologiques, les radioisotopes peuvent être employés, soit comme radioindicateurs pour identifier les eaux, soit comme moyen de déterminer l'âge des eaux.

Identification des eaux au moyen des radioindicateurs

On incorpore des radioindicateurs aux eaux souterraines pour déterminer certaines de leurs caractéristiques, telles que le débit ou la direction du courant. La mise au point de méthodes de détermination progresse de manière satisfaisante. Le problème principal a consisté à trouver un indica-

teur ayant une période convenable - c'est-à-dire ni trop courte, ni trop longue - qui soit en même temps facile à détecter et qui ne soit pas absorbé par les minéraux du sol. On a fait des essais avec un certain nombre d'indicateurs, mais il y a encore à faire dans ce domaine. Le tritium s'est révélé être un indicateur très efficace, mais deux difficultés subsistent. L'une réside dans le fait que le rayonnement émis par ce radioisotope est si faible qu'il n'est pas possible de faire sur le terrain l'analyse par détection de l'eau marquée. L'autre a trait à la période du tritium qui est de 12 ans et demi, donc trop longue pour des expériences à court terme. D'autres isotopes se comportent relativement bien comme indicateurs, à condition que l'on prenne certaines précautions ; ce sont l'iode-131, l'iode-125 et le complexe de cyano-cobalt marqué au cobalt-60.

Il est possible de faire les expériences à l'aide d'indicateurs de manière à obtenir des renseignements sur la quantité d'eau accumulée dans le sous-sol d'une région donnée. L'Agence a entrepris une expérience de ce genre dans une région karstique* de Grèce, la plaine de Tripolis dans le Péloponnèse. Le drainage de cette plaine se fait par l'intermédiaire de petits cours d'eau qui pénètrent dans des katavothres, c'est-à-dire des puits naturels creusés dans les montagnes limitrophes. On n'a pas pu découvrir jusqu'à présent ce qu'il advient de

* Région calcaire caractérisée par des avens et parsemée d'arêtes abruptes, de rochers irréguliers protubérants, de cavernes et de cours d'eau souterrains.

Mesure de débit dans le cadre d'un projet de recherches sur les eaux souterraines financé par le Fonds spécial des Nations Unies en Grèce (Photo de la Commission de l'énergie atomique de la Grèce)



cette eau. De nombreuses sources proches de la mer, et même en mer, indiquent la présence d'un vaste système de drainage souterrain, peut-être de rivières souterraines. Une expérience faite à l'aide de radioindicateurs a montré qu'il existe une relation entre l'un de ces puits naturels et une source. Les données obtenues ont également permis d'évaluer la quantité d'eau souterraine accumulée entre ces deux points. L'eau d'un deuxième puits a été marquée de la même manière en février 1962.

L'Agence encourage aussi d'autres expériences faites dans des régions karstiques en vue d'obtenir des données plus complètes sur ce mode d'accumulation des eaux souterraines qui est assez répandu et très difficile à étudier avec les méthodes classiques.

Dans les expériences mentionnées plus haut, l'indicateur - de l'eau marquée au tritium ou tritiée - est introduit pendant une courte période, comme une espèce d'impulsion, dans l'eau qui pénètre dans le sous-sol. En principe, on pourrait faire des expériences analogues dans des régions où les eaux souterraines sont alimentées par des précipitations s'infiltrant lentement dans le sol. Dans de telles régions, cependant, on rencontre des difficultés pratiques dues au fait que la superficie des terrains à travers lesquels les eaux souterraines sont alimentées est généralement très étendue.

Une autre méthode pour évaluer la quantité d'eaux souterraines d'une région donnée consiste à utiliser le tritium libéré dans l'atmosphère à l'occasion d'essais d'armes nucléaires. Il suffit alors d'enregistrer les quantités de tritium contenues dans les précipitations et emportées par les rivières à certaines époques. On peut considérer que le tritium des précipitations est une impulsion d'une certaine forme par rapport au temps. L'impulsion est déformée lorsqu'elle passe à travers les eaux souterraines accumulées. L'amplitude de cette déformation indique la quantité d'eaux de différents âges présentes dans le sous-sol.

L'Agence s'est rendu compte que ce tritium artificiel peut être utilisé en météorologie ainsi qu'en hydrologie et, sur la recommandation de son Comité consultatif scientifique et en collaboration avec l'Organisation météorologique mondiale (OMM), elle a entrepris une enquête mondiale visant à déterminer, à l'aide du tritium, la concentration des isotopes de l'hydrogène et de l'oxygène dans les précipitations. Des échantillons de précipitations sont recueillis tous les mois dans quelque 90 stations météorologiques réparties à travers le monde. Le dosage du tritium contenu dans ces échantillons est effectué au laboratoire. Il sera possible, au moyen des renseignements obtenus, de déterminer l'augmentation de l'impulsion due au tritium artificiel dans n'importe quelle région à n'importe quel moment. L'Agence a aussi demandé à l'OMM de prêter son concours à une enquête analogue portant sur les cours d'eau. En combinant les résultats obtenus pour les précipitations et pour les cours d'eau, il

sera possible d'évaluer l'importance des réservoirs d'eaux souterraines des principaux bassins fluviaux du monde.

On pourrait envisager un échantillonnage analogue des eaux fluviales dans toutes les régions dont on désire connaître les réserves en eaux souterraines. A l'heure actuelle, cependant, les laboratoires disposant du matériel assez coûteux nécessaire au dosage du tritium contenu dans les échantillons d'eau sont trop peu nombreux. La situation s'améliorera avec le temps; pour le moment, il est important d'établir un programme judicieux d'échantillonnage, ce qui n'entraîne que des dépenses limitées.

Détermination de l'âge des eaux au moyen des radioisotopes

Le carbone-14 est utilisé depuis de nombreuses années, on le sait, pour établir l'âge des spécimens archéologiques. Il est le résultat de la réaction nucléaire qui intervient entre les neutrons provenant du rayonnement cosmique et l'azote atmosphérique. Il est produit à un rythme constant, semble-t-il, et pénètre dans les végétaux à peu près de la même façon que le carbone ordinaire. Une fois fixé dans la substance organique, il se désintègre progressivement, de sorte que la concentration résiduelle permet de calculer le temps qui s'est écoulé depuis que le carbone-14 de l'atmosphère a été absorbé et fixé par la plante.

Il importe de pouvoir déterminer l'âge des nappes d'eau souterraine si l'on veut les utiliser, car leur âge donne une idée du taux de renouvellement probable. Pour faire cette détermination, on a proposé d'avoir recours au tritium. Ce radioisotope se forme dans l'atmosphère par le même processus que le carbone-14; après avoir pénétré dans le sol comme partie intégrante de la molécule d'eau, il se désintègre, ce qui a pour effet - tout comme pour le carbone-14 - d'en réduire la concentration. Il devrait donc être possible, en principe, d'utiliser le tritium pour déterminer l'âge des échantillons d'eau souterraine comme on emploie le carbone-14 pour la datation des spécimens archéologiques.

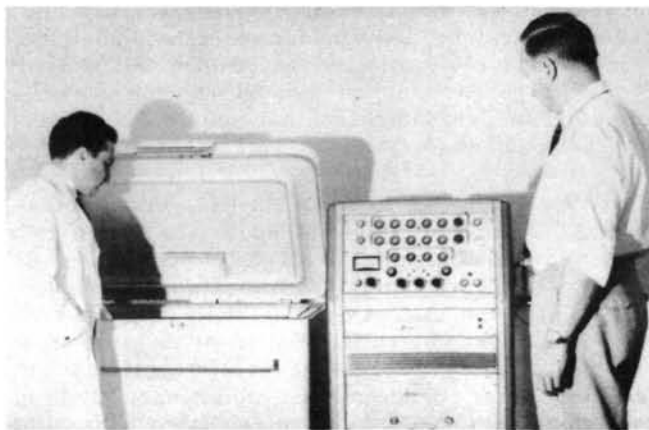
A cet égard, on se heurte cependant à quelques complications. Il y a tout d'abord le fait que l'équilibre du tritium dans la nature a été sensiblement modifié par l'introduction de tritium artificiel dans l'atmosphère en quantités importantes depuis 1954. En conséquence, la méthode de la désintégration radioactive est inapplicable à la détermination de l'âge des échantillons d'eau souterraine qui ont moins de huit ans.

Une autre complication à laquelle on peut s'attendre réside dans le fait qu'il peut y avoir mélange d'eaux d'âges différents. Heureusement, il ne semble pas que les eaux souterraines se mélangent beaucoup; en effet, au cours de recherches faites récemment aux Etats-Unis, on a trouvé dans une nappe souterraine des couches très différenciées

de tritium d'âges différents. Par conséquent, à condition d'appliquer une technique d'échantillonnage appropriée, on devrait pouvoir déterminer la date de l'eau en différents points d'une nappe souterraine, tout au moins pour les âges compris entre 10 et 50 ans. Ces renseignements permettent d'évaluer l'âge moyen d'une nappe d'eau souterraine. L'absence presque complète de tritium caractérise les eaux de plus de 50 ans. On a trouvé dans le sous-sol des eaux ainsi dépourvues de tritium.

Comme exemple de l'intérêt que présente la détermination de l'âge des eaux souterraines par le tritium, on peut citer l'étude faite dans la vallée du Sabi en Rhodésie du Sud. Les premiers forages ont montré qu'il existe de l'eau dans le sous-sol en grande quantité et que la surface supérieure de la nappe aquifère s'abaisse à mesure que l'on s'éloigne du fleuve et que l'on se rapproche de la montagne, bien qu'il n'y ait aucune issue apparente pour l'eau. Ce fait était difficilement explicable, car la vallée est remplie de matériaux assez grossiers et, pour que le débit soit important, il faudrait qu'il y ait un cours d'eau souterrain à travers la montagne. On a donc déterminé la quantité de tritium contenue dans quelques échantillons d'eau souterraine provenant de plusieurs forages et dans un échantillon de l'eau du fleuve qui semblait alimenter la nappe aquifère. Les résultats ont été assez surprenants; en effet, les échantillons d'eau souterraine, y compris un échantillon prélevé sur l'eau d'un forage situé à environ un kilomètre du fleuve, ne contenaient aucune trace de tritium; en revanche, la concentration du tritium dans l'eau du fleuve était normale. Connaissant la période du tritium et les limites de la précision de l'analyse, on peut conclure que cette eau souterraine a quitté le fleuve voisin il y a 50 ans au moins. On peut donc admettre que, dans cette région, l'eau souterraine se déplace avec une lenteur extrême, et ce malgré la pente de la surface supérieure de la nappe, ce qui est dû sans doute à la présence de couches de roches argileuses dans le sable. Si l'on voulait irriguer cette région, il faudrait tenir compte de ces observations dans la

Matériel pour l'analyse d'échantillons d'eau au laboratoire de l'AIEA



Prélèvement d'échantillons d'eau pour en déterminer la teneur en tritium, dans le cadre d'un projet de recherches sur les eaux souterraines financé par le Fonds spécial des Nations Unies en Grèce (Photo de la Commission de l'énergie atomique de la Grèce)

pratique. En effet, au cas où l'on emploierait l'eau du fleuve à cette fin, on pourrait craindre que les sels normalement présents dans cette eau ne s'accumulent, car l'eau souterraine se déplace trop lentement pour les emporter. (C'est probablement ainsi que s'explique l'accumulation de sels qui s'est produite, au cours des 50 dernières années, au Pakistan occidental.) Au cas où l'on pomperait l'eau souterraine pour irriguer, le risque serait que l'eau ne s'épuise rapidement, car il ne semble pas que la réserve d'eau souterraine se renouvelle facilement. La conclusion qui s'impose est que, dans un cas comme celui-ci, il est indispensable d'entreprendre une étude du taux de renouvellement des nappes souterraines dans l'ensemble de la région, avant de procéder à la mise en valeur des terrains à des fins agricoles.

Des méthodes de datation de l'eau autres que le dosage du tritium ont été imaginées récemment. L'une d'elles consisterait à dater les eaux anciennes d'après leur teneur en carbone-14 en se fondant sur le fait que l'eau souterraine contient toujours du bicarbonate en solution. Il se peut que des difficultés surgissent s'il se produit des phénomènes d'échange entre le carbone-14 provenant de l'atmosphère et le carbone contenu dans les roches calcaires, car alors l'âge apparent de l'eau est beaucoup plus élevé que l'âge réel, le calcaire étant normalement âgé de plusieurs millions d'années et déjà débarrassé de son carbone-14. Il est néanmoins possible de surmonter ces difficultés, à condition de connaître le taux de l'échange. Il a également été suggéré de se fonder sur la radioactivité naturelle présente dans

le sol et due aux radioisotopes de la série de l'uranium pour déterminer l'âge des nappes souterraines, car le rapport entre radioéléments voisins de cette famille dépend du taux de renouvellement de l'eau souterraine.

Autres emplois des radioisotopes

Les matières solides charriées par les cours d'eau peuvent gêner l'utilisation de l'eau en comblant les réservoirs de barrage et en obstruant les canaux d'irrigation. Il est virtuellement impossible de déterminer, par les moyens classiques, le débit solide des cours d'eau, car une grande partie de ces matières est entraînée au niveau du fond. On a récemment étudié la possibilité d'utiliser à cet effet du sable marqué avec des radioisotopes. L'Agence

encourage des recherches sur cette méthode qui permettra peut-être de résoudre le problème. En outre, elle participe activement à une étude sur le débit solide d'un affluent du Mékong, en Asie du Sud-Est.

Tout ce qui vient d'être dit a trait à l'emploi des radioisotopes en hydrologie. Il n'est pas exclu que l'on puisse utiliser aussi les isotopes stables dans la recherche hydrologique. Ainsi, l'oxygène-18 et le deutérium semblent présenter un intérêt pour l'identification des eaux, car la proportion des divers isotopes contenus dans la pluie varie selon l'altitude à laquelle celle-ci atteint le sol. Aussi l'enquête mondiale sur les précipitations mentionnée plus haut prévoit-elle le dosage de ces isotopes.

RAPPORTS DE BOURSIERS DE L'AIEA

A la fin de 1961, plus de 500 hommes de science et techniciens avaient terminé leurs études à l'étranger au titre du programme de bourses de l'AIEA, tandis que 300 boursiers étudiaient dans les universités, les instituts de recherche et les établissements d'énergie atomique des Etats Membres.

L'Agence a pour règle de rester en contact avec les boursiers, même lorsqu'ils sont revenus dans leur pays après la fin de leurs études pour mettre en pratique les enseignements qu'ils ont reçus. Les rapports succincts que les anciens boursiers adressent au Secrétariat de l'Agence permettent de savoir s'ils ont tiré profit de leur séjour à l'étranger et dans quelle mesure ils utilisent les connaissances acquises pour entreprendre des tâches constructives dans leur pays d'origine. Voici, à titre d'exemple, quelques brefs extraits ou résumés de rapports de boursiers. D'autres extraits du même genre paraîtront dans les prochaines éditions du Bulletin.

M. O. O. BETTI, neuro-chirurgien de Buenos Aires, avait obtenu une bourse pour étudier sa spécialité dans des hôpitaux parisiens. Il a passé neuf mois à Sainte-Anne et à la Pitié, s'intéressant surtout aux nouvelles méthodes encéphalographiques à l'aide des rayons gamma. Il organise maintenant un laboratoire de gamma-encéphalographie à l'Institut de neuro-chirurgie de Buenos Aires. Dans son rapport à l'Agence, il s'exprime en ces termes : "Les connaissances acquises grâce à la bourse que m'a octroyée l'AIEA m'ont permis de me perfectionner dans les techniques stéréotaxiques pour l'utilisation des matières radioactives destinées à détruire les zones et les circuits cérébraux dont le mauvais fonctionnement provoque différents syndromes."

M. LIONEL SIRIWARDENE a suivi pendant trois mois des cours à l'Ecole des radioisotopes de l'Autorité de l'énergie atomique du Royaume-Uni, dans le Berkshire, en qualité de boursier de l'Agence. Au cours de son séjour dans le Royaume-Uni, il a pu également visiter des centres atomiques, notamment ceux d'Harwell, de Windscale, de Calder Hall et de Wantage, ainsi qu'un certain nombre de laboratoires d'universités à Cambridge, Oxford, Londres et Leeds. Peu après son retour à Ceylan, M. Siriwardene a été nommé directeur du centre des isotopes à l'Université de Ceylan, où il est chargé notamment de la formation des étudiants (au niveau universitaire et post-universitaire) à la radiochimie et à l'emploi, la manipulation et la mesure des radioisotopes ; il dirige également le programme de recherches du centre. Il existe en outre un cours post-universitaire, organisé et dirigé par l'expert de l'AIEA à Ceylan, M. F. H. Kendall. M. Siriwardene écrit : "La formation que j'ai reçue est sans aucun doute extrêmement précieuse. Grâce à elle, l'enseignement de la radiochimie et la formation à l'emploi des radioisotopes ont pu être introduits à Ceylan. Il est probable que l'on obtiendra des résultats extrêmement intéressants dans ce domaine dans un proche avenir."

Mme ZDENKA HRADECNA (République socialiste de Tchécoslovaquie) a étudié les effets des rayonnements ionisants au niveau moléculaire pendant un séjour de 14 mois au laboratoire de biophysique de l'Université de Genève. Elle s'est spécialisée dans les effets d'irradiation et de protection sur la bactérie lysogénique et le bactériophage lambda. Mme Hradecna est maintenant chef du Département de biophysique moléculaire à l'Institut