

Le compte rendu des travaux de ce groupe a été récemment publié par l'Agence sous le titre "Medical Uses of Ca⁴⁷" (Collection Rapports techniques No 10).

En résumé, l'Agence s'efforce depuis quatre ans de faire adopter le calcium-47 dans les applications médicales courantes. A cet effet, elle a étudié

le besoin de ce radioisotope, stimulé sa production à plus bas prix, encouragé les recherches sur les possibilités qu'il offre dans le domaine médical et pris des mesures pour publier les renseignements ainsi obtenus. Le fait que le calcium-47 n'est plus considéré comme un radioisotope rare est dû au moins en partie aux efforts déployés par l'Agence, en collaboration avec des spécialistes du monde entier.

DATATION AU MOYEN DES RADIOISOTOPES

Peu de temps après la découverte de la radioactivité, on a entrepris de mesurer les radioéléments lourds existant dans la nature pour déterminer l'âge des roches (Rutherford, 1904); toutefois, les recherches sur la radiodation n'ont pris vraiment leur essor qu'à la suite d'un exposé que le professeur Libby a fait à l'occasion de la première Conférence des Nations Unies sur l'utilisation de l'énergie atomique à des fins pacifiques, tenue à Genève en 1955, au cours duquel il a décrit comment son équipe de chercheurs avait mis au point une méthode de datation au moyen du carbone-14. Depuis cette époque, les laboratoires de nombreux pays ont réalisé des progrès rapides dans ce domaine; les géologues, les géophysiciens, les géochimistes et les archéologues ont joint leurs efforts à ceux des atomistes pour perfectionner les méthodes et élargir le champ de leurs applications.

Le professeur Libby a d'abord élaboré la théorie de la datation au moyen du radiocarbone; son équipe a trouvé du radiocarbone dans les eaux usées de Baltimore; elle a fait à l'échelon mondial des analyses de bois et a mis au point les procédures et le matériel de comptage nécessaires. Le professeur Libby et ses collaborateurs ont commencé par procéder à la datation d'échantillons d'âge connu, pour vérifier le bien-fondé de la méthode, avant de passer à des objets dont l'âge était inconnu. Les premiers résultats ont été publiés en 1952. Vers 1950, on s'intéressait surtout au fait que la méthode Libby utilisait le carbone-14 comme "chronomètre" et rendait possible la datation de trouvailles archéologiques et autres objets relativement récents. Depuis quelque temps, on s'intéresse de préférence à la détermination d'âges très lointains, qui remontent à l'origine même de notre système solaire, et on s'efforce également d'appliquer cette méthode à d'autres problèmes de la physique du globe, notamment à l'étude des mouvements de l'air et des masses d'eau et pour élucider l'origine et la nature des roches terrestres et des météorites.

Cette nouvelle tendance s'est fait nettement sentir durant le colloque international organisé par l'AIEA à Athènes, du 19 au 23 novembre 1962; en effet, bien qu'il fût consacré aussi à l'étude du carbone-14 et à l'archéologie, ce colloque a surtout été le siège de discussions sur des problèmes de géologie et de météorites. Il était placé sous le patronage de la Commission mixte de la radioactivité appliquée du Conseil international des unions scientifiques (CIUS) et de la Commission hellénique de l'énergie atomique.

Méthodes et possibilités

Le principe général de la radiodation consiste à mesurer la désintégration de certains radioisotopes et/ou la vitesse de formation d'autres radioisotopes de la chaîne de désintégration. Pour ramener les marges d'erreur au minimum, il faut connaître aussi exactement que possible la période des radioisotopes considérés et être sûr que, dans l'échantillon mesuré, l'activité du radioisotope n'a diminué que par désintégration naturelle. Il faut également être capable de mesurer de petites quantités de rayonnement, ce qui pose des problèmes difficiles à cause de l'inévitable bruit de fond produit par d'autres sources. Pour la radiodation, on utilise à la fois les radioisotopes naturels à très longue période dont l'existence remonte à la formation du globe et du système solaire (nucléosynthèse) et - plus récemment - les radioisotopes produits par le bombardement des rayons cosmiques, soit directement à la surface de la terre, soit dans l'atmosphère et au-delà.

Tout au début de la radiodation, on avait évalué à environ 5 600 ans la période du carbone-14 qui se forme dans l'atmosphère du fait de l'absorption de neutrons venant des rayons cosmiques par l'azote, dont la transformation donne ce radioisotope du carbone. D'après un mémoire présenté au colloque par deux chercheurs suédois de l'Université d'Uppsala (M.M. Olson et Karlén), il ressort de recherches toutes récentes effectuées à Uppsala par le National Bureau

of Standards des Etats-Unis et par le Centre de recherches d'Aldermaston (Royaume-Uni) que la période doit être plutôt évaluée à 5 700 ans. La détermination de la période du carbone-14 revêt une importance particulière, car ce radioisotope constitue le principal instrument de mesure lorsqu'on ne remonte pas au-delà de 50 000 ans ; par conséquent, c'est lui que l'on utilise surtout en archéologie. Pour dater des échantillons beaucoup plus anciens, on se sert de radioisotopes existant dans la nature. Un mémoire présenté par deux spécialistes, un Allemand et un Suisse (MM. Herr et Hirt), avait traité l'emploi du rhénium-187 (période 48 millions d'années) pour mesurer l'âge des météorites ferreuses. Les résultats concordent parfaitement avec l'hypothèse générale, fondée sur les résultats d'autres méthodes de radiodatation, selon laquelle les météorites et la croûte de notre planète se sont formées à peu près en même temps, il y a environ 4 milliards d'années. Avant de connaître la méthode de radiodatation, on ne disposait d'aucun moyen pour déterminer avec une certaine précision l'âge de la formation de la terre et il a fallu attendre les dernières années pour que cette méthode elle-même devienne assez exacte.

Certains des éléments de la chaîne de désintégration de l'uranium émettent des particules alpha, qui sont des noyaux d'hélium. Ce dernier peut être mesuré par spectrométrie de masse ; un rapport à ce sujet a été présenté dans un mémoire rédigé par deux chercheurs de l'Université d'Arizona (MM. Damon et Green). Une des principales difficultés de cette méthode est de déterminer la perte d'hélium dans l'échantillon pour des raisons autres que la désintégration naturelle, par exemple lorsqu'il se produit une "libération" due à la grande vitesse d'émission des particules alpha, une dégradation par irradiation ou une diffusion de chaleur.

Deux mémoires étaient consacrés à une méthode relativement récente : la thermoluminescence. Elle consiste à mesurer le rayonnement lumineux d'un échantillon exposé à la chaleur. Certains éléments subissent un réarrangement électronique lorsqu'ils sont exposés aux rayonnements, les électrons s'accumulant dans des "pièges". Ce réarrangement reste stable à la température du milieu dans lequel se trouve l'élément, mais si on expose le corps à la chaleur les électrons reviennent à leur position primitive en émettant des rayons lumineux que l'on peut mesurer. L'intensité de la lumière est directement proportionnelle à l'exposition primitive du corps.

La première méthode couramment utilisée pour dater les roches uranifères a consisté à mesurer l'accumulation de plomb-206, un isotope stable apparaissant à la fin de la chaîne de désintégration de l'uranium, et à comparer le résultat obtenu à la quantité d'uranium-238 contenue dans l'échantillon. Le même principe peut être appliqué pour comparer

la quantité de plomb-206 à celle des autres radio-nucléides le précédant dans la chaîne. Des chercheurs yougoslaves (MM. Gojkovic, Deleon et Cervenjak) ont fait état d'expériences qui prouvent qu'en déterminant le rapport plomb-206/plomb-210 on obtient des résultats qui concordent étroitement avec les valeurs données par d'autres méthodes.

L'une des principales tâches de la radiodatation consiste actuellement à mettre au point des méthodes et des instruments de comptage qui puissent être utilisés pour mesurer les très faibles activités qui interviennent le plus souvent. M. Oeschger, de l'Institut de physique de l'Université de Berne, a passé en revue les méthodes actuelles de comptage aux faibles intensités (compteurs à gaz et à scintillations) et a décrit des méthodes visant à supprimer le bruit de fond. Il estime que ces méthodes conviennent pour des échantillons dont l'âge ne dépasse pas 50 000 ans. Mais l'amélioration des méthodes et du matériel - qui semble tout à fait possible - pourrait ouvrir de nouvelles possibilités. On pourrait, par exemple, utiliser dans ce cas du carbone-14 pour la datation jusqu'à 60 ou 70 000 ans. Il ne serait plus nécessaire d'opérer sur des échantillons aussi volumineux qu'on le fait actuellement, et l'étude des phénomènes de circulation de l'eau dans l'océan et celle de la radioactivité des matières terrestres en seraient facilitées. Il est également très probable, toujours selon ce spécialiste, qu'en augmentant la sensibilité des méthodes de comptage on pourrait détecter des radioisotopes encore inconnus ayant des périodes extrêmement longues.

Un spectromètre de masse sensible permet d'obtenir des résultats sûrs si l'on applique la méthode de datation potassium/argon, même lorsque les échantillons ont de faibles concentrations ou sont relativement récents. Ce fait a été signalé par deux chercheurs allemands (MM. Gentner et Lippolt) qui ont fait des essais de datation sur des os fossiles de la Forêt Noire et sur des minéraux volcaniques de l'Eifel.

Géologie et applications en météorologie et en hydrologie

Il est apparu au cours du colloque d'Athènes que la radiodatation avait pendant les dernières années, non seulement accru sa sensibilité, mais encore reculé ses limites chronologiques. Le progrès des méthodes permettant de déterminer le rapport uranium-234/uranium-238 a permis, par exemple, de procéder à des datations plus précises d'échantillons vieux de 100 000 ans à 1 million d'années (M. Thurber). A l'autre extrémité de l'échelle, l'emploi du plomb-210 qui se forme dans l'atmosphère par la désintégration d'un gaz à courte période, le radon-222, s'est révélé utile pour dater les processus géochimiques qui se sont déroulés pendant les derniers

siècles. Un mémoire émanant de l'Université de Californie (M. Goldberg) décrivait des études à ce sujet effectuées sur des glaciers du Groenland ainsi que sur les fleuves Colorado et Sacramento. Ces études ont également montré que la composition des cours d'eau reflète, non seulement la géologie du bassin hydrographique, mais encore les réactions inorganiques ou chimiques qui se produisent dans ces eaux.

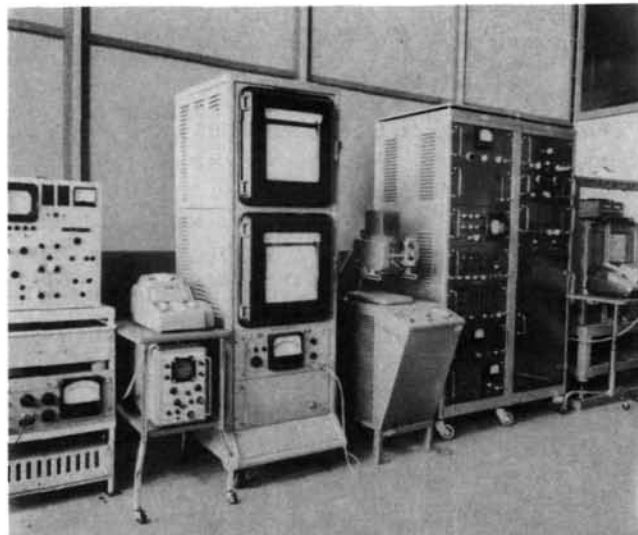
On a étudié également l'emploi de carbone-14 et d'autres radioéléments produits par les rayons cosmiques pour suivre les grands déplacements des couches d'air dans l'atmosphère. D'après un mémoire indien (M. Lal), on peut maintenant déterminer la vitesse à laquelle la poussière extra-terrestre s'accumule sur la terre depuis quelques millions d'années, en mesurant les concentrations d'aluminium-26 et de manganèse-53 dans ces dépôts. Actuellement, on estime qu'un millier de tonnes de ces poussières atteint la terre chaque année.

D'après le même mémoire, la radioactivité produite à la surface de la terre par les rayons cosmiques peut également servir à des études sur l'érosion; en fait, les taux d'érosion sont normalement si élevés que les surfaces exposées à l'heure actuelle se seraient trouvées à plusieurs dizaines de mètres sous terre il y a quelques centaines de milliers d'années. Cette méthode ne peut donc être appliquée qu'à des érosions relativement récentes. L'étude des radioisotopes produits par le rayonnement cosmique a également permis de se faire une idée du mécanisme des courants océaniques ainsi que de la chronologie des sédiments océaniques.

Par exemple, MM. Bien, Rakestaw et Suess ont évalué la vitesse sud-nord de l'eau de l'océan Pacifique à 0,04 cm par seconde, ce qui signifie qu'il faut à peu près 400 ans à l'eau située au 40ème degré de latitude sud pour atteindre le 40ème degré de latitude nord.

M. Münnich, de l'Université de Heidelberg, a mesuré l'accumulation du carbone-14 artificiel dans la haute atmosphère; il estime que l'on doit abandonner l'ancien modèle imaginé pour expliquer le lent mélange des masses d'air tant du nord au sud qu'à diverses altitudes et le remplacer par un modèle "continu", fondé sur la théorie de la diffusion.

La méthode classique de détermination de l'âge des roches consistait à mesurer les quantités de divers radioisotopes se trouvant dans un échantillon. Cette méthode avait un défaut: certains des produits de la désintégration de l'isotope à mesurer pouvaient avoir disparu au cours du refroidissement de la roche. Il semble bien que le strontium-87, issu du rubidium, reste dans la roche; on a donc mis au point une méthode qui consiste à mesurer un échantillon de l'ensemble de la roche entière, au lieu de déterminer



Spectromètres multicanaux α et γ utilisés au Centre d'études nucléaires de Fontenay-aux-Roses

la teneur des divers isotopes, et cette méthode semble pleine de promesses. Un mémoire émanant de l'Institut de technologie du Massachusetts (MM. Hurley, Fairbairn, Faure et Pinson) exposait les améliorations apportées à cette méthode. Son succès dépend en partie de la détermination du rapport initial strontium-87/strontium-86 dans la roche au moment de sa formation. Les auteurs signalent que, pour la plupart des roches, cette valeur est voisine de 0,708, chiffre qui peut être utilisé sans avoir à procéder à des mesures individuelles pour chaque échantillon.

Les résultats de la détermination de l'âge de minerais d'uranium dans des formations granitiques du nord de la Bavière ont montré que l'uranium s'était formé à une époque plus récente que l'ensemble des gisements de la région, probablement pour la raison que l'uranium s'était dissous lors de l'écoulement des eaux acides à travers les calcaires alcalins, apparaissant ensuite sous forme de sels d'uranium (MM. Lenz et Wendt).

La datation d'après le rapport potassium/argon (M. Zähringer) a servi à déterminer l'âge de tectites que l'on trouve surtout dans trois régions: Amérique du Nord, Tchécoslovaquie et Australie. Les australites semblent très jeunes - quelque 600 000 ans - par rapport aux tectites tchécoslovaques - environ 15 millions d'années - et à celles d'Amérique du Nord - plus de 30 millions d'années. Les tectites se présentent sous forme sphérique, elles sont vert foncé et ont l'aspect du verre; on leur prête généralement une origine cosmique. Le professeur Vinogradov (URSS) a, néanmoins, attiré l'attention des participants sur le fait que les données physiques et chimiques dont on dispose, notamment sur la teneur élevée des tectites en potassium et en uranium, qui se rapproche de

celle des roches acides de formation terrestre, sembleraient prouver qu'elles ont une origine terrestre.

Les discordances entre les âges obtenus par l'emploi des radioisotopes pour la datation géologique dépendent dans une large mesure des changements de température et de l'échange de base des eaux souterraines, a estimé M. Kulp de l'Université de Columbia. Il a relaté les travaux expérimentaux entrepris récemment sur les propriétés d'échange de base de la biotite, pour laquelle les résultats de la datation sont particulièrement peu sûrs. Ses conclusions sont que les effets thermiques entraînent rarement des discordances de plus de 10 %, alors que les échanges des eaux souterraines expliqueraient les différences de résultats obtenus en utilisant la méthode rubidium/strontium ou la méthode potassium/argon. Ces discordances n'en fournissent pas moins des renseignements utiles sur l'histoire géochimique d'une région.

M. Vinogradov, de l'Institut de biogéochimie de l'Académie des sciences de l'URSS, a parlé d'expériences de datation au carbone-14 de dépôts de tourbes le long d'un fleuve situé en Sibérie orientale, l'Indighirka, ainsi que de la datation de mammoth (12 000 ans) et de la manière dont l'eau douce se transforme en eau salée dans la mer Noire (8 000 ans).

Météorites

La détermination de l'époque de formation des météorites et de leur chute, ainsi que la production de radioactivité dans les satellites, ont fait l'objet de plusieurs mémoires. Les plus intéressants étaient consacrés à l'évaluation de l'intensité des rayons cosmiques à différentes époques et en différentes régions de l'espace ainsi qu'à la formation de particules très pénétrantes dans l'espace.

Un mémoire américain (M. Fisher) précisait que les données obtenues en utilisant du plomb pour la datation montrent que les météorites pierreuses sont vieilles de 4 500 millions d'années, ce qui correspond à l'âge de la croûte terrestre. En ce qui concerne les météorites ferreuses, on a calculé que, d'après le rapport potassium/argon, leur âge serait presque trois fois plus élevé. On ne possède aucune autre donnée pour étayer l'hypothèse couramment répandue que les météorites ferreuses et pierreuses et la terre elle-même se sont formées en même temps. D'après les résultats dont on dispose maintenant, il semble que les météorites ferreuses soient beaucoup plus anciennes que les météorites pierreuses.

Les mêmes méthodes utilisées pour mesurer l'âge des météorites sont également appliquées depuis quelque temps aux fragments des satellites construits par l'homme. Un mémoire rédigé par un groupe de chercheurs du Smithsonian Astrophysical Observatory (MM. Fireman, de Felice et Tillers) souligne

que la production de radioactivité dans les satellites est tout à fait différente de la production dans les météorites. Dans les météorites, la radioactivité est uniforme; dans les satellites, au contraire, on observe des différences considérables dues à l'excentricité de la trajectoire et aux interactions avec des protons de la ceinture de Van Allen. On a analysé la teneur en tritium du plomb, de l'acier et de l'aluminium de divers échantillons de satellites Discoverer. Ces recherches sont directement liées aux plans de voyage de l'homme dans l'espace.

D'autres mémoires ont décrit les méthodes utilisant le carbone-14 ou d'autres radioéléments produits par les rayons cosmiques pour dater l'époque de la chute d'une météorite sur la terre. Les résultats obtenus jusqu'ici tendent à prouver que beaucoup de météorites ont des "vies terrestres" beaucoup plus longues qu'on ne le croyait jusqu'à présent. Les participants se sont dans l'ensemble accordés à reconnaître que le carbone-14 est un bon instrument de datation des météorites et que, moyennant quelques perfectionnements, l'exactitude et la portée de cette méthode augmenteraient, ce qui pourrait se révéler particulièrement intéressant pour la datation de cratères météoritiques préhistoriques.

Pour obtenir par observation "directe" le même genre d'informations que celles qui résultent de l'étude des météorites récemment tombées, il aurait fallu effectuer un voyage dans l'espace d'une durée de deux ans, dans une capsule spatiale construite spécialement à cet effet.

La distribution dans l'espace et dans le temps de l'intensité des rayonnements cosmiques a fait l'objet de plusieurs mémoires. Un travail effectué au Laboratoire national de Brookhaven par MM. Davis, Stoenner et Schaeffer décrit une méthode de comparaison de l'activité d'un radioisotope à courte période avec un radioisotope à longue période pour mesurer la densité spatiale des rayonnements cosmiques. On a utilisé de l'argon-37 (période : 35 jours) et de l'argon-39 (période : 325 ans) Les résultats ont mené à la conclusion que l'intensité actuelle des rayons cosmiques à la distance d'une unité astronomique (égale à l'orbite terrestre) est inférieure à 15 % de leur intensité à une distance de plusieurs unités astronomiques. Les résultats ont aussi montré que la production de radionucléides par les rayons cosmiques est indépendante de l'orbite de la météorite. Une étude spéciale a été consacrée aux effets des protubérances solaires, comme celle qui s'est produite en novembre 1960; ces effets ont été déterminés en comparant la teneur en argon-37 d'échantillons d'acier inoxydable provenant du satellite Discoverer 17, qui a été lancé lors des protubérances solaires intenses de novembre 1960, à des échantillons des satellites Discoverer 18 et 26.

Un autre mémoire américain (MM. Goel et Kohman) traitait des variations de l'intensité des rayons cosmiques dans le temps. On suppose généralement que ces rayons ont leur origine dans les étoiles ou dans les systèmes stellaires; comme ceux-ci varient avec le temps et la position par rapport à la galaxie, on pourrait s'attendre à des variations à longue échéance. Le mémoire conclut que, d'après des recherches faites avec du chlore-36 et de l'argon-36, l'intensité des rayons cosmiques décroît depuis plusieurs centaines de millions d'années. Ces recherches ont également montré que l'érosion des météorites, au cours de leur séjour dans l'espace, est "générale et importante".

Ces conclusions sont différentes de celles de deux autres mémoires présentés par des spécialistes (MM. Voshage et Hinterberger) de l'Institut de chimie Max-Planck, Mayence, qui estiment que l'intensité des rayons cosmiques depuis plusieurs millions d'an-

nées est supérieure à leur intensité moyenne au cours de la totalité de la vie des météorites. D'après un autre mémoire émanant du même Institut (MM. Vilcsek et Wänke), l'érosion dans l'espace est très faible. La durée de vie relativement courte des météorites pierreuses n'est pas due à l'érosion, mais aux collisions dans l'espace, qui ont un effet beaucoup plus marqué sur la pierre que sur le fer. Cette question a également été abordée dans un mémoire belgo-américain (MM. Crèvecoeur et Schaeffer), d'après lequel on ne pourrait se prononcer avec certitude sur les changements de l'intensité des rayons cosmiques dans le temps qu'après avoir résolu des problèmes tels que celui de l'érosion des météorites dans l'espace et du taux de production de radioisotopes dans les météorites, ceci bien que les mesures concernant le rapport aluminium-26/béryllium-10 indiquent que l'intensité des rayons cosmiques est constante depuis une dizaine de millions d'années.

APPLICATION DES RAYONNEMENTS A LA PHYTOGENETIQUE DANS LA REPUBLIQUE ARABE UNIE

Dans le cadre de son programme d'assistance technique, l'Agence internationale de l'énergie atomique fournit à la République Arabe Unie les services d'un spécialiste de l'application des radioisotopes en agriculture, plus particulièrement de leur emploi en phytogénétique. L'expert affecté à cette tâche est M. Alois Tavčar, professeur à l'Université de Zagreb (Yougoslavie).

M. Tavčar prêtera son concours pour l'exécution des travaux pendant une durée de sept mois. Il a déjà séjourné quatre mois au Caire (de janvier à mai 1962) et doit y retourner prochainement pour une période de trois mois. Le rapport qu'il a soumis à l'Agence sur la première partie de sa mission indique la nature et l'étendue des activités qui ont été entreprises sous sa conduite dans la République Arabe Unie.

Du point de vue purement scientifique, la mission de M. Tavčar visait avant tout à aider les autorités de la République Arabe Unie à élaborer un programme d'étude des effets génétiques de divers types de rayonnements sur les tissus cellulaires et de l'influence qu'exerce l'irradiation des semences ou des plants sur la vitesse de croissance de certaines plantes cultivées. Il était prévu, en outre, que l'expert

participerait au programme général d'enseignement du Centre national de formation à l'emploi des radioisotopes, au Caire, et qu'il mettrait sur pied un programme spécial de formation à l'emploi des radioisotopes en agriculture.

M. Tavčar s'est acquitté d'une bonne partie de sa tâche au cours de la première tranche de sa mission. On prévoit que, pendant son prochain séjour au Caire, il sera possible non seulement d'évaluer certains des résultats obtenus mais encore, en s'inspirant de l'expérience acquise, d'intensifier et d'amplifier les activités entreprises. Bien que la plupart des mutations n'apparaissent qu'à partir de la deuxième génération et au cours des générations ultérieures, on peut formuler certaines observations dès la première génération lorsqu'il s'agit de plantes provenant de semences irradiées.

Expériences d'irradiation

Après l'arrivée de M. Tavčar au Caire, un programme de travail a été arrêté de concert avec M. Ismail Hazza, Directeur du Centre national de radioisotopes. Ce travail portait en grande partie sur l'irradiation de diverses cultures.