

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION
WASHINGTON, D.C. 20546

THE ADMINISTRATOR

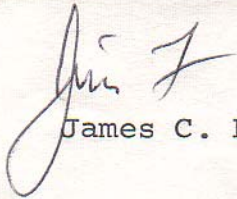
January 17, 1972

Professor Jack W. Keuffel
Department of Physics
University of Utah
Salt Lake City, Utah 84112

Dear Jack:

What a surprise -- even in French, yet!
Congratulations.

Sincerely,



James C. Fletcher



Quand les physiciens vont à la mine

Les physiciens des particules élémentaires, aux débuts de leur discipline, recherchaient les hautes altitudes : laboratoire du Pic du Midi, envois vers la haute atmosphère de ballons chargés de paquets d'émulsions détectant les particules chargées, etc. Il s'agissait alors de détecter les particules du rayonnement cosmique le plus haut possible avant qu'elles n'aient interagi avec les atomes de l'atmosphère. Avec la construction des grands accélérateurs, on a pu produire abondamment au ras du sol les particules observées initialement dans le rayonnement cosmique (mésons π , mésons K, etc.). Depuis plusieurs années, certains physiciens continuent des travaux utilisant le rayonnement cosmique, mais en s'enfonçant loin sous terre cette fois, dans les puits de mines. C'est ainsi que furent menées, dans les récentes années, des expériences dans les mines d'or de Kolar (Inde du Sud) et de l'Afrique du Sud, dans différentes mines des Etats-Unis, et même dans le tunnel du mont Blanc.

La Terre : un filtre pour rayons cosmiques.

Toutes ces opérations utilisent la grande masse de terre les séparant du rayonnement cosmique comme d'un filtre. En effet, les particules hadroniques (c'est-à-dire ayant des interactions nucléaires) du rayonnement cosmique interagissent rapidement avec l'air atmosphérique ; par interactions et désintégrations successives, il ne reste donc essentiellement au niveau du sol que des muons (μ) et des neutrinos (ν) ; à ces produits atmosphériques s'ajoutent les muons et les neutrinos venus directement du cosmos. Ces particules appartiennent, avec les électrons et positrons, à la classe des « leptons » qui n'ont pas d'interactions fortes (c'est-à-dire nucléaires) et n'appartiennent que dans les interactions faibles responsables des désintégrations telle la désintégration β du neu-

tron. Les muons sont des particules chargées : μ^+ , μ^- de masse environ le 9^e de celle du proton ; les neutrinos des particules neutres de masse nulle ; muons et neutrinos ont une très faible probabilité d'interaction avec la matière — interaction faible —, si faible que la plupart des neutrinos peuvent traverser toute la terre sans interagir. Les muons, particules chargées, ont aussi des interactions électromagnétiques avec la matière : ils sont freinés progressivement dans le champ coulombien des noyaux de la matière. Si l'on s'enfonce progressivement sous terre, on détecte donc d'abord un important flux de muons qui est peu à peu freiné puis absorbé par la matière. Plus profondément, une fois les muons disparus, on commence à pouvoir détecter les quelques très rares interactions que font les neutrinos en traversant la Terre (neutrino + noyau donne muon + noyau + etc.).

Excès de muons à Park City.

Les premières expériences ci-dessus — aux Indes et en Afrique du Sud — étaient placées assez loin sous terre (à — 10 000 pieds environ) pour pouvoir détecter les neutrinos sans important bruit de fond de muons. Mais une équipe de l'université d'Utah, opérant dans une mine d'argent abandonnée de Park City, s'est intéressée au flux de muons cosmiques en se plaçant plus près de la surface terrestre que les précédents. Ces physiciens ont analysé le flux de muons à différentes profondeurs et observé un curieux effet : la *proportion* — par rapport à tous les muons détectés quelle que soit leur direction par rapport à l'appareillage — de muons zénithaux, c'est-à-dire arrivant à la verticale, est plus forte que celle que l'on attend en tenant compte de la composition de l'atmosphère et de ce que l'on sait des interactions cosmiques dans celle-ci et des désintégrations de mésons π et K en muons. De plus, cette proportion croît lorsqu'on s'enfonce sous terre jusqu'à un maximum autour de — 4 000 pieds, puis décroît ; cela donne une indication sur l'énergie des muons zénithaux en excès, puisque la distance parcourue par un muon dans un matériau avant d'être arrêté est proportionnelle à son énergie.

Pour expliquer cet effet, les physiciens d'Utah ont avancé, lors de la 12^e conférence internationale sur les rayons cosmiques, qui a eu lieu en Tasmanie en août de cette année, que la meilleure hypothèse expliquant leurs données était la formation dans les interactions de protons cosmiques sur l'atmosphère de *bosons intermédiaires* W. Ils ont même attribué une masse

à ce W : environ 37 GeV ou milliards d'électron-volts (dans cette unité, la masse du proton est 0,938 GeV) ; ils ont indiqué que leur hypothèse pouvait également expliquer des effets bizarres observés par des physiciens italiens dans le tunnel du mont Blanc...

Un médiateur des interactions faibles.

Cette particule W de spin 1 est ainsi dénommée *boson*, parce qu'elle obéit à la loi statistique de Bose-Einstein, *vectoriel intermédiaire* parce qu'elle serait la particule attendue depuis longtemps comme agent intermédiaire des forces faibles (qui ont un couplage de type vectoriel), de la même façon que le photon est l'agent intermédiaire des forces électromagnétiques. Historiquement, c'est Yukawa qui, en 1935, introduisit le premier l'hypothèse d'une particule intermédiaire, un méson, pour expliquer et les forces nucléaires et la désintégration β . La découverte du méson π vint confirmer son hypothèse en ce qui concerne les interactions nucléaires, mais par contre nulle particule équivalente pour les interactions faibles ne fut trouvée. Dès 1934, Enrico Fermi avait formulé le couplage faible de la désintégration β comme un couplage *local* de quatre particules (neutron \rightarrow proton + électron + neutrino) ; local c'est-à-dire sans aucune particule intermédiaire entre le couple proton-neutron et le couple électron-neutrino. Sa théorie complétée en 1957 par l'hypothèse de T.D. Lee et C.N. Yang sur la violation de la parité, et en 1963 par celle de Nicola Cabibbo qui englobe dans un seul schéma particules étranges et non étranges, rend compte avec une étonnante précision de l'ensemble des interactions faibles en terme d'une seule constante de couplage universelle, dite de Fermi, G ; ce couplage a un caractère universel de couplage vectoriel (sans terme scalaire ou tensoriel) ; de plus, si l'on considère le « courant » faible défini par les particules mises en jeu dans une interaction faible, il présente de frappantes analogies avec les courants mis en jeu dans les interactions électromagnétiques des mêmes particules, ce qui constitue l'ébauche d'une théorie unitaire entre interaction faible et interaction électromagnétique.

On conçoit combien ce faisceau convergent d'indices rend attrayante l'hypothèse d'un médiateur universel des interactions faibles, W, boson chargé, particule vectorielle pour garantir le caractère vectoriel du couplage, et relativement lourde, qui rendrait compte de l'ensemble, ou presque, des caractéristiques de cette interaction. Malheu-



né le 19 novembre 1915 à Burlingame, dans le Kansas, le Dr Earl Wilbur Sutherland fit la plus grande partie de sa carrière de pharmacologue et de biochimiste à l'université de Washington, puis de Cleveland, avant de devenir professeur de physiologie à l'école de médecine de l'université Vanderbilt, à Nashville, poste qu'il occupa depuis 1963. (Cliché IPS.)

hormone, le glucagon, bien qu'intervenant dans des situations différentes, produit sur le foie une action comparable. Or les étapes biochimiques conduisant du glycogène au glucose sont peu nombreuses et impliquent l'intervention de trois enzymes seulement, qui étaient connus lorsque Sutherland entreprit les recherches dont nous parlons : le premier, la phosphorylase, catalyse la formation de glucose-1-phosphate à partir du glycogène ; le second, la phosphoglucomutase, convertit le glucose-1-phosphate en glucose-6-phosphate ; le troisième enfin, la glucose-6-phosphatase, catalyse la formation de glucose à partir du glucose-6-phosphate.

D'emblée, Sutherland posa clairement le problème : pour accroître la production de glucose à partir de glycogène dans le foie, l'adrénaline doit accélérer la réaction biochimique qui, dans les conditions normales, impose sa vitesse à toute la chaîne réactionnelle ; en d'autres termes, l'hormone doit activer celui des enzymes qui, étant le facteur limitant de la chaîne, peut agir comme enzyme régulateur.

Sutherland devait d'abord démontrer que ce rôle est joué par la phosphorylase. Il établit que la phosphorylase est effectivement activée lorsque des tranches de foie sont incubées en présence d'adrénaline ajoutée au milieu d'incubation. Le mécanisme moléculaire d'activation de la phosphorylase fut ensuite analysé, et il fut montré que l'enzyme peut exister sous deux formes, A et B, d'activité différente. La conversion de la forme B, peu active, en forme A, très active, est catalysée par un autre enzyme soluble, la phosphorylase-B-kinase. Puis Sutherland fit une série d'observations décisives : si la présence d'adrénaline conduit à l'activation de la phosphorylase *in vitro* sur des préparations cellulaires de foie complètes, il n'en va plus de même dans d'autres conditions. Ainsi, après centrifugation d'un broyat cellulaire, on obtient deux fractions : un culot, qui contient les particules telles que noyaux, mitochondries, membranes cellulaires, etc., et un surnageant qui contient les composés et enzymes solubles, et notamment la phosphorylase et la kinase activatrice. L'adjonction d'adrénaline au seul surnageant n'active pas la phosphorylase qu'il contient ; par contre, si le culot est incubé en présence de l'hormone, puis cet incubat (après destruction de l'hormone) ajouté au surnageant, alors la phosphorylase contenue dans ce dernier est activée ; ces expériences démontraient que l'adrénaline n'agit pas directement sur la phosphorylase-B-kinase, mais indirectement, en faisant apparaître dans la fraction particulaire un facteur responsable, lui, de l'activation de l'enzyme.

Sachant comment produire ce facteur, et sachant d'autre part comment le mettre en évidence (par activation de la phosphorylase), Sutherland et Rall pouvaient dès lors chercher à le caractériser ; ils reconnurent qu'ils étaient en présence d'un composé dialysable, thermostable dont ils établirent la structure chimique en 1957 : il s'agissait d'un nucléotide adénylique nouveau, caractérisé par la présence de deux liaisons ester-phosphate sur les positions 3' et 5' du ribose, l'acide 3'-5'-adénosine monophosphate cyclique, appelé plus brièvement depuis AMP cyclique.

Le deuxième message hormonal.

Complétant cette série de recherches, Sutherland et son école devaient encore établir que l'AMP cyclique est produit à partir de l'ATP par une enzyme membranaire, une adénylcyclase, et qu'il est normalement dégradé dans la cellule par conversion

en 5'AMP sous l'action catalytique d'une phosphodiésterase soluble.

En bref, cette remarquable série de travaux permettait de décrire le mécanisme de l'action glycogénolytique de l'adrénaline sur le foie de la façon suivante : l'hormone (l'adrénaline ou le glucagon d'ailleurs), en arrivant au contact de la cellule hépatique, active l'adénylcyclase de la membrane cellulaire, accélérant ainsi la production d'AMP cyclique dans la cellule à partir de son précurseur, l'ATP ; l'AMP cyclique formé, agissant comme messager intracellulaire, active à son tour la phosphorylase via la kinase et, par ce mécanisme, la production de glucose à partir de glycogène est augmentée.

Sutherland lui-même devait très rapidement comprendre que sa découverte de l'AMP cyclique revêtait une importance qui dépassait très largement le cadre de la régulation de l'hydrolyse du glycogène dans le foie. Il reconnut en effet que l'AMP cyclique, ainsi que les enzymes responsables de sa formation et de sa dégradation, l'adénylcyclase et la phosphodiésterase, sont présents dans les tissus les plus variés ; mais surtout, avec ses élèves, il démontra que l'action de toute une série d'hormones diverses sur leurs cellules réceptrices respectives est accompagnée, ou plus exactement précédée, par une augmentation de concentration locale d'AMP cyclique ; l'AMP cyclique s'avérait donc le médiateur intracellulaire commun à de nombreuses hormones dans les tissus les plus variés ; ainsi se trouvait accrédité son rôle de *deuxième messager* hormonal, selon l'expression proposée par Sutherland⁽²⁾.

L'aventure scientifique dont nous avons brièvement esquissé les étapes principales a couvert une période d'environ quinze ans, de 1950 à 1965 ; elle est exemplaire sur le plan de la rigueur de la démarche expérimentale, surtout s'agissant d'un domaine aussi complexe que celui du mécanisme d'action des hormones. Elle a abouti à la découverte d'un facteur de régulation du fonctionnement cellulaire dont le rôle s'avère d'année en année plus universel et décisif, l'AMP cyclique, motivant aujourd'hui les recherches de centaines sinon de milliers de biologistes. On doit mettre au crédit de Sutherland et de son école beaucoup plus que le seul mérite de la découverte de l'AMP cyclique : il faut y ajouter celui d'en avoir préparé les conditions et mesuré la portée.

François Morel,
professeur au Collège de France.

(2) Voir « Le Second messager hormonal », par Serge Jard, Recherche n° 6, 545-559.

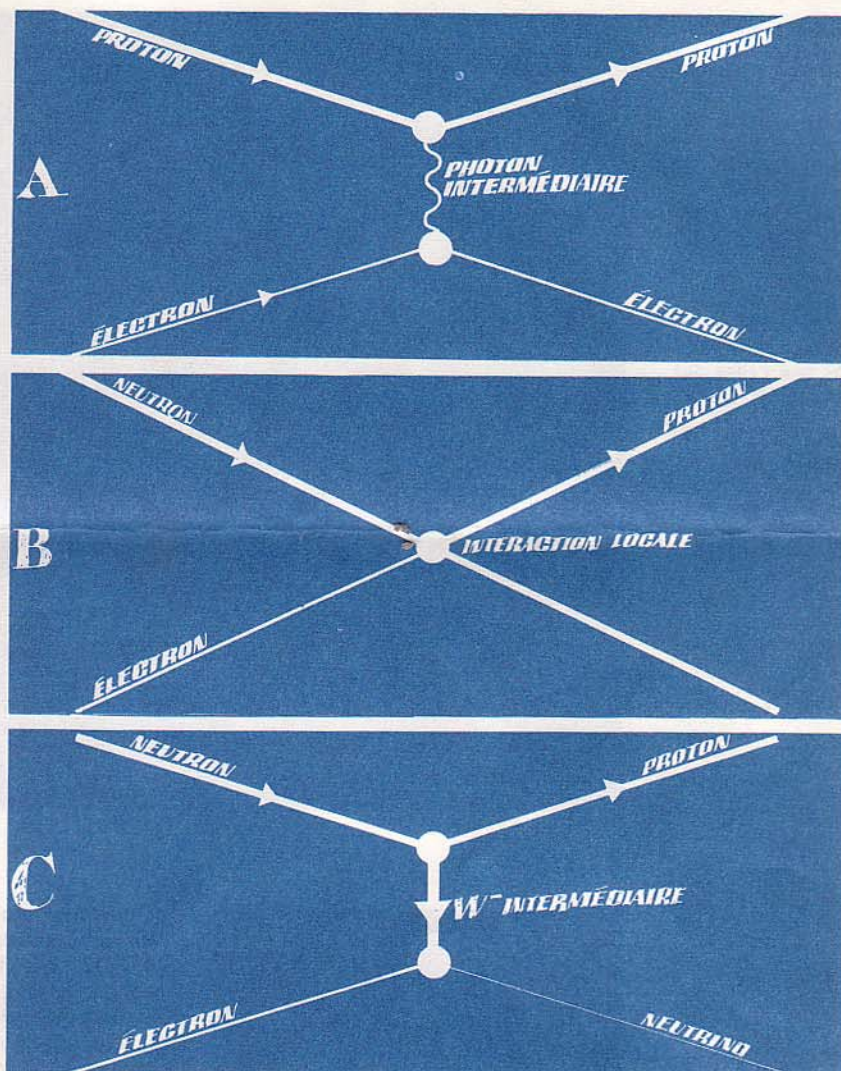
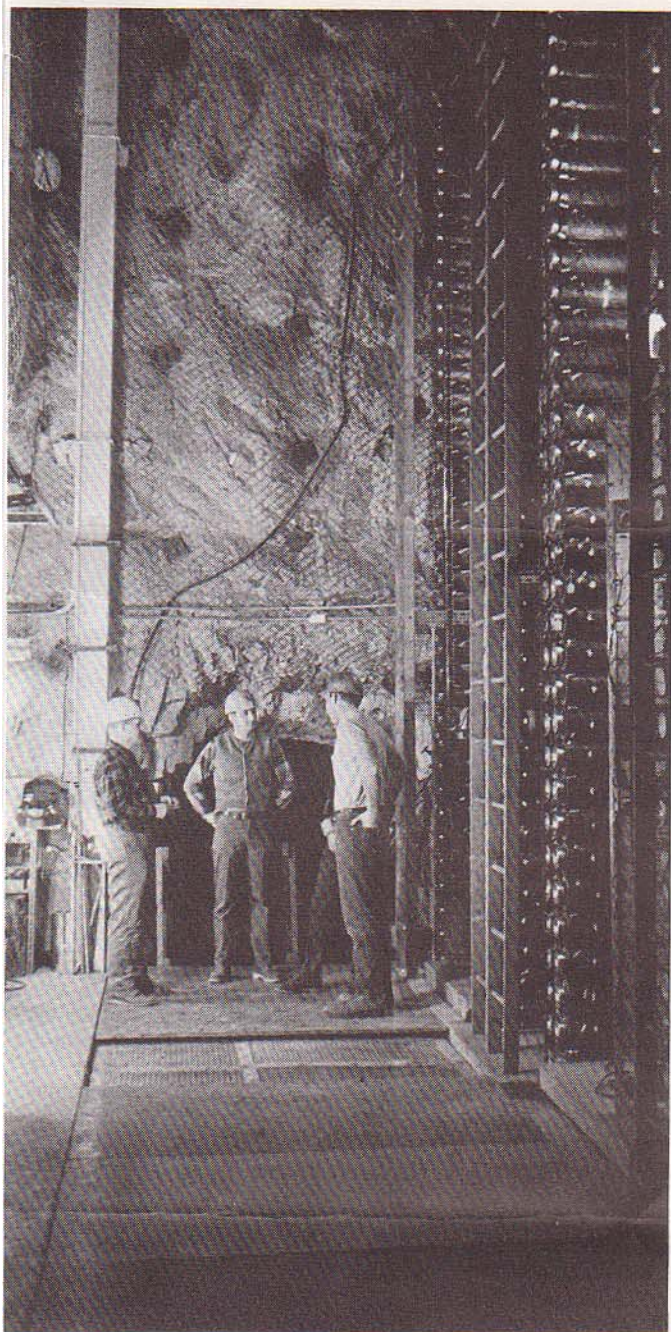


Fig. 2.

A. Schéma d'une diffusion électromagnétique d'électron sur proton : il y a échange d'un photon dans la collision entre le couple des nucléons (protons) et celui des leptons (électrons).

B. Schéma de la désintégration β dans la théorie de Fermi, qui rend bien compte des expériences : l'interaction faible est locale, il n'y a pas d'intermédiaire entre le couple des nucléons (neutron et proton), et celui des leptons (électrons et neutrino).

C. Schéma de la même interaction faible s'il existe un boson intermédiaire W^- ; analogie avec la diffusion électromagnétique.

Fig. 1. Cette photo montre l'appareillage que les physiciens de l'université de l'Utah (USA) ont utilisé dans les mines d'argent de Park City à 4 000 pieds sous terre. Il s'agit de grandes rangées verticales de longs compteurs cylindriques, dont on voit l'extrémité sur la photo, placées parallèlement les unes aux autres. Les particules chargées (muons) venant du rayonnement cosmique et traversant l'appareillage donnent des signaux en coïncidence dans plusieurs compteurs. L'expérience a montré un excès de muons rénithaux, c'est-à-dire donnant des signaux en coïncidence dans des rangées verticales, que ces physiciens ont expliqué par la production de bosons intermédiaires W dans l'atmosphère.

reusement, personne jusqu'ici n'a pu détecter le W, et l'analyse des expériences de neutrino a conduit à reculer la limite inférieure de sa masse à quelques GeV. Signalons cependant que certains théoriciens pensent que cette masse doit être très élevée. T.D. Lee a récemment estimé, dans un modèle unitaire interaction électromagnétique - interaction faible, que cette masse pourrait être 37,3 GeV.

Les indications expérimentales des physiciens d'Utah sont encore beaucoup trop mêlées d'incertitudes et d'hypothèses pour être adoptées telles que. De plus le W — tout comme les

quarks — a si bien sa place dans la théorie depuis tant d'années que l'on ne peut s'empêcher d'être très circonspect dès qu'on signale ses manifestations... Il serait sans doute nécessaire que d'autres groupes reprennent l'expérience d'Utah sous d'autres cieux et que le W soit décelé aussi dans les expériences neutrino de très haute énergie avant que son nom soit inscrit dans les Tables de la physique. Voilà donc pour les physiciens des hautes énergies un bel avenir dans les mines, qu'elles soient d'or ou d'argent.

Louis Dalais.

Cette disposition de la classification périodique a été proposée dans les années quarante par G.T. Seaborg, pour les éléments transuraniens ; ainsi se trouvent mises en valeur les analogies entre les termes de la série des lanthanides et ceux de la série des actinides, en même temps que celles des éléments suivants avec ceux de la 6^e ligne de la classification, ce qui fait de cette dernière un outil permettant l'identification de nouveaux éléments lourds, outil utilisé en particulier pour les éléments 104, 105, 114...

	IA	IIA	IIIB	IVB	VB	VIB	VII B	VIII										IB	IIB	IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	O	
1	H																				He					
2	Li	Be														B	C	N	O	F	Ne					
3	Na	Mg														Al	Si	P	S	Cl	Ar					
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr								
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe								
6	Cs	Ba	57 à 71	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn								
7	Fr	Ra	89 à 103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118								
8	119	120	121																							

série des Lanthanides														
57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu

série des Actinides														
89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

Du plutonium naturel

G.T. Seaborg, dont le nom est associé à la découverte et à la préparation d'une dizaine d'éléments transuraniens, a suscité un vif intérêt parmi les participants à la 4^e Conférence internationale de Genève sur les utilisations pacifiques de l'énergie nucléaire en annonçant que des traces de plutonium-244 avaient été mises en évidence dans un minerai de fluorocarbonates de terres rares (bastnasite).

La découverte des transuraniens.

Élément 94 de la classification périodique, le plutonium, découvert en 1940 par G.T. Seaborg — ce qui lui valut ultérieurement un prix Nobel de chimie —, était alors le second élément artificiel à avoir un numéro atomique supérieur à celui de l'uranium (92), le 93^e élément étant le neptunium, décou-

vert quelques mois avant le plutonium (d'où la nomenclature, calquée sur le classement des planètes selon leur distance au Soleil...). Dès 1944, G.T. Seaborg proposait de faire de la famille des actinides (des éléments 89 à 103) l'homologue de celle des lanthanides (57 à 71) dans la colonne III de la classification périodique : cette hypothèse, particulièrement féconde en ce qui concerne la prévision des propriétés et, par suite, la découverte des éléments terminant la série des actinides, s'est trouvée parfaitement vérifiée, et les derniers éléments actuellement obtenus, de numéros atomiques 104 à 105, trouvent bien leur place dans les cases de la classification périodique situées au-dessous du hafnium et du tantale, y compris l'élément 112⁽¹⁾ annoncé comme ekamercure (figure). Tous ces nouveaux éléments situés au-delà de l'uranium (et dits « transuraniens » pour cette raison) sont des éléments obtenus par « synthèse » dans des réacteurs nucléaires, dans des accélérateurs de particules, ou formés dans l'explosion d'engins nucléaires. En particulier, en ce qui concerne le plutonium, découvert à la suite du bombardement de l'uranium par des deutérons (noyaux d'un isotope lourd de l'hydrogène) conduisant à l'isotope 238, puis recherché pour son isotope 239 comme source d'éner-

gie nucléaire et de ce fait préparé en quantités pondérales dès 1942, on savait qu'il en existait des traces dans la nature sous la forme d'isotope 239. C'est du reste le dernier des actinides qu'on a pu déceler à l'état naturel, les éléments plus lourds n'ayant été observés que préparés : ainsi, par exemple, dans des minerais d'uranium tels que la pechblende du Colorado (50 % d'uranium), la teneur en plutonium-239 rapporté à l'uranium présent est $^{239}\text{Pu}/\text{U} = 7,7 \cdot 10^{-12}$; pour la carnotide du Colorado (10 % d'uranium) on trouve $^{239}\text{Pu}/\text{U} < 0,4 \cdot 10^{-12}$.

Des traces de plutonium-244 naturel...

Le plutonium-244 était considéré comme un isotope purement artificiel jusqu'à ce que l'équipe américaine⁽²⁾ dont les travaux ont été rapportés par Seaborg à Genève ait, au prix d'une technique expérimentale très habilement mise en œuvre, et grâce aux performances d'un spectromètre de masse à très haute résolution, réussi à mettre en évidence l'existence de plutonium-244 naturel avec un rapport signal/bruit de fond de l'ordre de 10, ce qui permet une excellente identification. A partir de 8,5 kg de bastnasite pure (pour 85 kg de minerai traité), l'équipe américaine aboutit au dé-

(1) *La Recherche*, n° 12, mai 1971, p. 470.

(2) D.C. Hoffman et F.O. Lawrence (Los Alamos Scientific Laboratory, New Mexico), et J.L. Mewherter et F.M. Rourke (Knolls Atomic Power Laboratory, New York).