

Hans Bethe

Des étoiles à la bombe



LES hommes comme Hans Albrecht Bethe se comptent sans doute sur les doigts d'une seule main, et les regards des étudiants lorsque celui-ci traverse à pas lents les jardins du prestigieux Institut de technologie de Californie (Caltech) sont d'une respectueuse éloquence. Bethe fait partie de cette race de physiciens nés au début du siècle et qui ont traversé l'histoire dans ce qu'elle a à la fois de plus glorieux et de plus tragique. Acteurs de la révolution conceptuelle majeure de la physique que fut l'irruption de la théorie de la relativité et de la méca-

nique quantique, ils ont également été confrontés aux bouleversements de la Seconde Guerre mondiale et à leur point culminant : l'avènement de l'arme atomique. Époque confuse, où la physique percevait les secrets de la matière et des étoiles alors que, dans le même temps, elle perdait définitivement sa virginité de science "pure" en inventant la plus monstrueuse des armes.

Bethe est le personnage clé de ce passé troublé. Découvreur de la source du feu stellaire puis artisan central de la bombe atomique américaine, il a tout d'un

Prométhée moderne, même si sa modestie l'a amené à laisser aux autres le devant de la scène. Son trajet scientifique est irréprochable. Né à Strasbourg en 1906, il fait ses études à Francfort puis à Munich, où il passe sa thèse en 1928 sur l'interaction des particules chargées avec la matière. Il travaille ensuite avec les plus grands, Rutherford à Cambridge puis Fermi à Rome, avant de s'exiler aux États-Unis, après l'avènement du régime nazi en Allemagne. Il rejoint alors l'université de Cornell à laquelle il appartient encore maintenant. Il va y produire entre 1937 et

Il comprit le premier comment brillent les étoiles. Il fut aussi de cette poignée de scientifiques qui, dans le secret de Los Alamos, mirent au point la tristement célèbre bombe atomique. Hans Bethe est l'un des derniers géants qui auront marqué la physique de ce siècle d'une empreinte indélébile. C'est dans le bureau 01 du prestigieux laboratoire Kellogg de l'institut Caltech qu'il a bien voulu retracer pour nous son impressionnante carrière, et revenir sur les motivations qui ont guidé ses pas.

propos recueillis
par Jean-Marc Bonnet-Bidaud

1939 une série de trois articles, connus sous le nom de "Bible de Bethe", qui vont le rendre célèbre dans le monde entier et lui valoir le prix Nobel en 1967. Il est le premier en effet à résoudre une énigme qui minait l'astrophysique depuis plus de 50 ans : celle de la source d'énergie des étoiles. C'est donc tout naturellement à ce physicien auréolé d'une gloire récente que Robert Oppenheimer fait appel lorsqu'il constitue en 1942 le centre de Los Alamos, où des brigades de prix Nobel seront enfermées derrière les barbelés pour construire l'arme atomique. Hans Bethe — qui, selon ses collègues, "*a le rare don de capter immédiatement l'essence profonde d'un problème physique*" — devient alors la synapse centrale de ce cerveau géant. Il dirigera jusqu'à la fin la prestigieuse division théorique de Los Alamos, celle qui aura à résoudre tous les problèmes fondamentaux posés par la bombe.

Les suites seront moins faciles. Ébranlé comme tous les scientifiques par cette compromission définitive de la science avec l'œuvre de destruction aveugle des militaires et des politiques, il prend du recul, s'opposant en particulier à la surenchère d'Edward Teller pour la bombe à hydrogène, avant pourtant de s'y rallier un peu plus tard. En 1954, en plein maccarthysme, il défend Oppenheimer et participe ensuite activement aux négociations pour la limitation des armements.

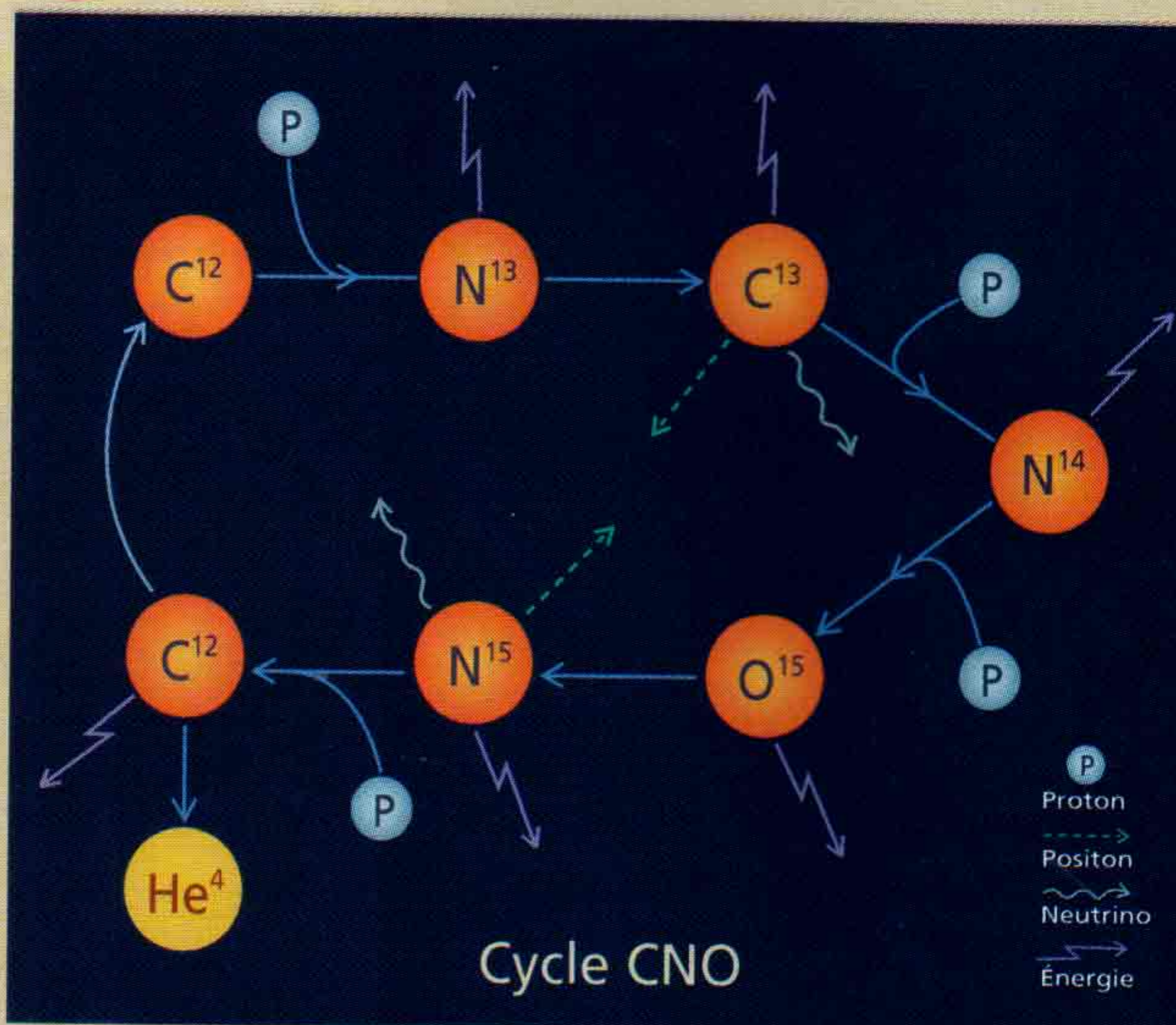
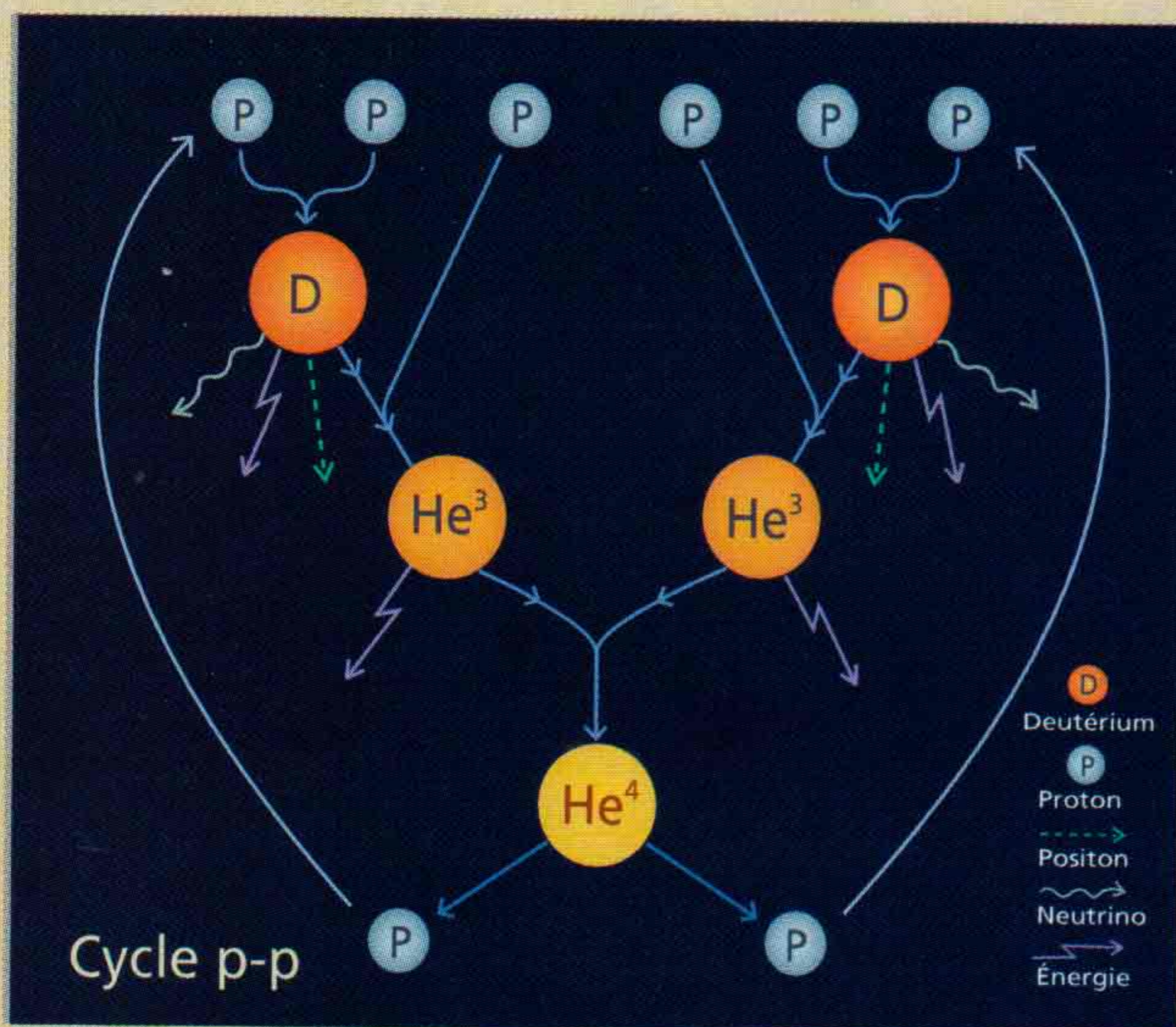
Même s'il se dit davantage physicien qu'astrophysicien, l'homme de science a renoué avec les étoiles ces dix dernières années, abordant tour à tour le problème des neutrinos solaires, des supernovae et, tout dernièrement, de la formation des trous noirs. À près de 90 ans, il poursuit toujours son œuvre de recherche avec une lucidité et une énergie étonnantes.

Ciel et Espace : *Vous avez eu la chance de vivre un moment extraordinaire de la physique et de l'astrophysique, où furent coup sur coup révélées la théorie de la relativité puis celle de la mécanique quantique. Quel a été votre cheminement personnel à cette époque ?*

Hans Bethe : J'ai fait des études de physique car j'ai été très tôt passionné par la structure de la matière. Ma thèse, que j'ai soutenue en 1928 à Munich, portait sur la pénétration des particules chargées dans la matière. À cette époque, bien sûr, on ne connaissait que deux particules, le proton et l'électron, mais on pressentait que les choses allaient évoluer rapidement.

Hans Bethe dans son bureau en février 1996. Ci-contre, l'explosion d'Alamogordo, le premier test historique de l'arme atomique.

La source d'énergie des étoiles



QU'EST-CE qui fait briller le Soleil et les étoiles ? Cette question essentielle n'a été résolue qu'à la veille de la Seconde Guerre mondiale lorsque Hans Bethe découvrit, en 1939, l'existence de cycles complexes de réactions nucléaires. À la fin des années 20, Eddington, le premier, pensa à l'énergie atomique comme source d'énergie. Il émit d'abord l'hypothèse de la conversion totale de la masse des atomes en énergie, selon la fameuse formule d'Einstein $E = mc^2$. Mais impossible alors d'expliquer la diversité des éléments constatée. On se rabattit donc sur les simples réactions nucléaires qui combinent deux noyaux pour en faire un troisième, plus léger que la somme des deux autres, la différence de masse étant convertie en énergie. Or au début des années 30, on imaginait encore que le Soleil avait la même composition chimique que la Terre : fer, nickel, silicium,

soit autant d'éléments très peu productifs dans les réactions nucléaires. C'est lorsqu'on comprit que notre étoile était une boule d'hydrogène et d'hélium que tout s'éclaira enfin.

Successivement, Atkinson en 1936, puis von Weizsäcker en 1937 et enfin Bethe et Critchfield en 1938 allaient penser à la réaction la plus simple, celle qui combine deux noyaux d'hydrogène ou protons (p), comme source principale d'énergie du Soleil. C'est le fameux cycle (p-p) où, en tout, quatre protons sont utilisés pour fabriquer un noyau d'hélium 4, un peu plus léger qu'eux. L'énergie rayonnée, emportée par des photons gamma, correspond à 0,75 % de la masse initiale mise en jeu. Il faut 600 millions de tonnes d'hydrogène par seconde pour maintenir la luminosité solaire mais, même à ce rythme, à peine plus de 10 % de la masse du Soleil sera ainsi consommée après dix

milliard d'années. Malheureusement, ce cycle (p-p) n'est pas suffisamment efficace pour les grosses étoiles dont la température centrale est très élevée. Hans Bethe découvrit alors qu'il fallait invoquer d'autres réactions, réalisant la même fusion des protons mais faisant appel à des éléments plus lourds, le carbone (C), l'azote (N), l'oxygène (O).

Dans le cycle CNO, le carbone 12 nécessaire au départ est restitué et les éléments CNO ne servent donc que comme catalyseurs. Le bilan net est le même que celui du cycle (p-p), mais l'efficacité du cycle CNO augmente énormément avec la température centrale de l'étoile. À 17 millions de degrés, il fournit déjà dix fois plus d'énergie que le cycle p-p. Dans le Soleil au contraire (13 millions de degrés), c'est le cycle (p-p) qui l'emporte, fournissant 98 % de la luminosité solaire.

C. et E. : Vous avez côtoyé les plus grands, Eddington, Pauli, Rutherford, Fermi... Lequel a eu le plus d'influence sur vous ?

H. B. : Certainement Enrico Fermi. Il avait cette capacité de formuler les choses en termes simples et de comprendre immédiatement les grandes lignes d'un problème. Mais bizarrement, ce sont d'autres que lui, comme George Gamov ou Edward Teller, qui m'ont amené à l'astrophysique. Il se tenait à l'époque des réunions régulières, plutôt informelles, organisées sous les auspices de l'Institut Carnegie, qui rassemblaient une vingtaine de chercheurs sur un sujet précis. Celle d'avril 1938, à Washington, était consacrée aux interac-

tions possibles entre les noyaux au centre des étoiles. Gamov et Teller ont beaucoup insisté pour que j'y assiste. Je n'étais pas très convaincu car je ne connaissais rien aux étoiles mais j'ai finalement accepté.

C. et E. : Comment se posait alors le problème de la source d'énergie des étoiles ?

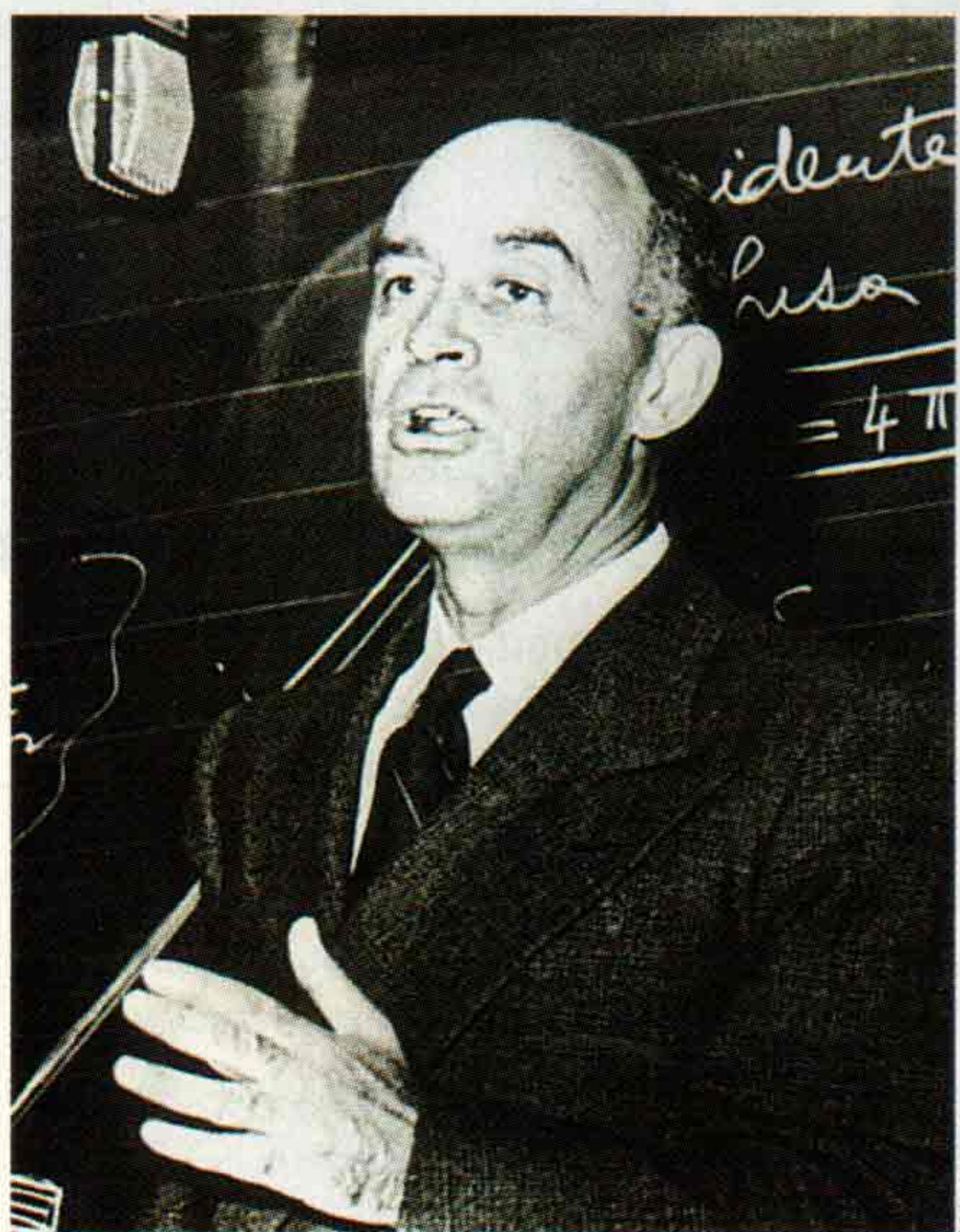
H. B. : Tout le monde se référait à l'ouvrage fondamental d'Eddington, *La constitution interne des étoiles*, publié en 1926. Eddington était persuadé que l'énergie des étoiles provenait de réactions mais personne ne savait dire lesquelles. Une hypothèse circulait, totalement fautive, qui supposait que le Soleil avait une composition semblable à celle de la Terre, c'est-à-

dire du fer, du silicium, autant d'éléments incapables de fournir de l'énergie. Ce n'est qu'avec les travaux presque simultanés de B. Strömberg et A. Unsöld et l'observation des raies spectrales du Soleil et des étoiles que l'on s'aperçut que le constituant essentiel était l'hydrogène.

C. et E. : C'est seulement quelques années après la découverte du positon et du neutron en 1932 que vous proposez vos fameux cycles de réactions nucléaires. Très peu de choses étaient encore connues sur la physique nucléaire. Comment avez-vous abouti à cette découverte majeure ?

H. B. : En fait, Carl von Weizsäcker en Allemagne avait déjà fait le calcul le plus

simple, celui qui consiste à combiner deux noyaux d'hydrogène (protons), mais il obtenait une énergie trop faible pour le Soleil. Je savais parfaitement calculer ce genre de réactions car, avant d'arriver aux États-Unis en 1935, j'avais étudié avec Rudolf Peierls, à Manchester, l'interaction proton-neutron. Avec C. Critchfield, nous avons alors repris le calcul de Weizsäcker en introduisant les effets quantiques et nous avons découvert que la réaction proton-proton, le cycle p-p, était largement suffisante pour expliquer la luminosité solaire. Il restait cependant une incertitude essentielle sur la température centrale du Soleil. Tout ce que nous étions capables de dire, c'est qu'elle devait être de moins de 20 millions de degrés. Mais certains pensaient qu'elle pouvait atteindre 40 millions de degrés et là, notre cycle p-p produisait cent fois trop d'énergie. Heureusement, les mesures d'opacité du Soleil montrèrent bientôt que c'était plutôt 20 millions.



Enrico Fermi, le célèbre physicien italien, prix Nobel 1938, domine incontestablement la physique fondamentale de son époque. Il sera l'inspirateur de la carrière de Bethe.

C. et E. : *Si cela marchait si bien, pourquoi et comment avez-vous été amené au deuxième cycle de réactions, le cycle CNO, qui vous vaudra le prix Nobel ?*

H. B. : Lors de cette fameuse réunion de Washington en 1938, la question qui se posait concernait non seulement le Soleil mais également les autres étoiles très massives et beaucoup plus lumineuses. D'où tiraient-elles leur énergie ? L'énergie produite par le cycle p-p augmente très peu avec la température et se révélait insuffisante pour ces étoiles. Il fallait trouver d'autres réactions. J'ai pensé à utiliser des éléments plus lourds que l'hydrogène car dans leur cas, du fait de la plus grande



C'est à la fin des années 30, juste avant qu'éclate la Seconde Guerre mondiale que Hans Bethe "invente" les cycles complexes de réactions nucléaires — cycles p-p et CNO — qui font briller les étoiles. Découverte qui lui vaudra le prix Nobel de physique en 1967.

répulsion électrique, les réactions varient fortement avec la température. J'ai alors pris la classification périodique des éléments et je les ai tous passés en revue. L'hélium ne donnait rien, le lithium, le béryllium, le bore étaient trop peu abondants. En revanche, il y a beaucoup de carbone dans la nature. J'ai fait le calcul avec cet élément et, à ma grande surprise, non seulement j'obtenais la bonne énergie mais je tombais sur un cycle, le cycle CNO, qui permet aux réactions de s'auto-entretenir.

C. et E. : *Le cycle CNO est en fait très complexe. Combien de temps avez-vous mis pour aboutir à ce résultat ?*

H. B. : À peu près six semaines. Ce n'était pas si difficile car je connaissais parfaitement toutes les réactions nucléaires. Ce travail a été publié dans la *Physical Review* en 1939 et mes résultats ont été rapidement connus car j'ai été invité à les exposer à l'université de Harvard. Dans la salle, il y avait le célèbre astrophysicien Henry Russell qui, convaincu, fut par la suite mon plus ardent promoteur.

C. et E. : *Un certain article, signé Alpher, Bethe et Gamov, publié en 1948, est devenu historique. Longtemps considéré comme une version primitive du big bang, celui-ci*

est connu sous le nom d'article "αβγ". Était-ce vraiment un canular de George Gamov qui a "emprunté" votre nom pour la beauté du jeu de mots ?

H. B. : C'est malheureusement le cas. Je n'ai pas trouvé la plaisanterie très agréable. En outre, je n'ai pas participé à la rédaction de cet article et je ne l'ai pas du tout apprécié car il était totalement faux. C'était un très mauvais papier qui prétendait produire tous les éléments au début du big bang avec des réactions plutôt fantaisistes.

C. et E. : *En dehors de votre apport décisif en astrophysique, vous avez eu aussi un rôle déterminant lors de la dernière guerre. Celle-ci a été marquée par un événement majeur : la participation de scientifiques de premier plan à l'élaboration d'une arme de destruction massive. Quelles ont été vos motivations pour rejoindre le fameux centre de Los Alamos, où fut conçue la bombe atomique américaine ?*

H. B. : Elles ont été toutes naturelles. Comme vous le savez, j'ai été obligé de quitter l'Allemagne en 1933 lorsque j'ai été démis de mes fonctions à Tübingen par les nazis. Pour moi, c'était donc un moyen de lutter contre eux. Nous craignons qu'ils n'aient les moyens, eux aussi, de construire

Les scientifiques malades de la bombe

LE PRIX NOBEL de la paix attribué à Joseph Rotblat en octobre 1995, pour son action contre la course aux armements, a remis en lumière le dilemme posé aux scientifiques qui ont inventé la bombe atomique. Rotblat fut en effet le seul physicien à abandonner le centre de Los Alamos lorsqu'il comprit que cette arme dévastatrice ne servirait pas à mettre fin à une guerre mais à débiter une course folle de domination militaire avec l'URSS. Même durant la célébration du cinquantième de Hiroshima et de Nagasaki, il a été peu question de l'attitude de ces chercheurs qui ont conçu la bombe atomique, l'ont réalisée et, finalement, ont poussé à ce qu'elle soit utilisée — une attitude ambiguë dont la science ne s'est pas remise. Le premier de ces chercheurs fut le pacifiste Einstein lui-même qui, dans une lettre adressée à Roosevelt le 2 août 1939, suggéra que *"des bombes d'un genre nouveau et d'une extrême puissance pourraient être construites."* Deux ans plus tard, était constitué le laboratoire de Los Alamos où allait s'être élaboré l'arme atomique. Pour de nombreux chercheurs, celle-ci n'était qu'une expérience de physique un peu particulière. La première explosion test à Alamogordo, loin de susciter une interrogation légitime sur les conséquences de cette recherche pour l'humanité, ne fut l'objet que de paris entre chercheurs sur la puissance réelle de la bombe. Après la capitulation de l'Allemagne, nombreux furent ceux qui se prirent au jeu de la surenchère. Pour le comité scientifique composé de Lawrence, Fermi, Compton et Oppenheimer, il

convenait avant tout que le fruit de tant d'efforts, une fois conçu, soit utilisé. Dans une recommandation faite le 1^{er} juin 1945 au président Truman, ils indiquaient que *"la bombe devrait être utilisée contre le Japon le plus tôt possible [...] sans avertissement préalable"*. Lorsque certains, comme Leo Szilard, s'opposèrent à l'utilisation de la bombe en proposant à la place un essai public devant les représentants des Nations unies, le même comité conclut : *"Nous ne voyons aucune alternative acceptable à l'emploi militaire direct."* La pétition lancée par Szilard fut totalement bloquée à Los Alamos par Oppenheimer. L'utilisation de deux bombes, dont celle difficilement justifiable stratégiquement de Nagasaki, s'explique avant tout par le fait que les chercheurs voulaient tester les effets des deux dispositifs, uranium et plutonium, qu'ils avaient mis au point. Le bombardier B 29 *Enola Gay* qui lâcha la bombe d'Hiroshima était accompagné d'un autre appareil où Luis Alvarez, futur prix Nobel de physique en 1968, enregistra froidement les données de l'explosion. Ce bombardement fut une véritable célébration scientifique pour la grande presse. Le communiqué de la Maison Blanche du 6 août 1945 se félicita de *"la plus grande des réussites de la science organisée"* et le journal *Le Monde* titra sur *"une révolution scientifique"*. En revanche, une onde de choc commença à se propager dans le milieu scientifique. Oppenheimer lui-même se mit à douter du bien-fondé de l'engagement de la recherche dans une œuvre de destruction, contraire à l'idéal scientifique du



progrès et de la connaissance. L'avènement prévisible de la course aux armements déclencha en avril 1949 l'Appel au désarmement de Stockholm, qui réunit des millions de signatures et fut suivi en juillet 1955 par le manifeste de Russell-Einstein, dont Rotblat est le dernier signataire vivant. Malgré cela, la science ne s'est toujours pas remise du pacte conclu avec les militaires à l'occasion d'Hiroshima. Les nouvelles armes se construisent maintenant dans les laboratoires de recherche. L'histoire de la bombe est une histoire exemplaire qui n'a pas servi d'exemple.

la bombe. Après tout, la fission de l'uranium avait été découverte à Berlin et il y avait en Allemagne des scientifiques compétents, Heisenberg, Weizsäcker, capables de mener à bien ce projet.

C. et E. : *La division théorique que vous dirigez à Los Alamos a dû avoir d'innombrables problèmes à résoudre...*

H. B. : À tel point que j'ai d'abord cru la tâche sans espoir, lorsque Oppenheimer m'a demandé de rejoindre le groupe de physique théorique avec Teller et beaucoup d'autres. Cela n'avait rien à voir avec les

étoiles. En premier lieu, le matériau fissile disponible était en très petite quantité. Il a fallu très vite estimer la masse critique nécessaire d'uranium 235 et de plutonium pour qu'ils puissent être produits le plus tôt possible industriellement, l'uranium 235 par séparation avec l'uranium 238 et le plutonium dans les réacteurs nucléaires. Puis nous avons dû calculer l'efficacité de la bombe. Au début, nous étions dans un inconnu effrayant. Teller avait fait un premier calcul qui montrait que la chaleur dégagée était capable de faire fusionner les

noyaux légers jusqu'à l'azote, autrement dit notre bombe risquait d'embraser d'un seul coup l'ensemble de l'atmosphère terrestre ! Deux groupes différents ont étudié plus en détail la propagation des neutrons et, finalement, on est arrivé à une puissance équivalant à 8 000 tonnes de TNT (8 kt). La bombe d'Alamogordo fit en réalité 22 kt.

C. et E. : *Quelle était l'atmosphère au sein de ce groupe théorique ?*

H. B. : Tout le monde travaillait énormément. Je pense que la raison essentielle du succès de l'opération Los Alamos tient au



Los Alamos, 1944. Même les rares moments de détente se passent entre collègues physiciens. De gauche à droite, Segrè, Fermi, Bethe, Bretcher, Weisskopf (assises, les épouses de Segrè et Bretcher). Pour Bethe, "le succès du projet tient au fait que de grands chercheurs ont pu constamment y échanger des idées".

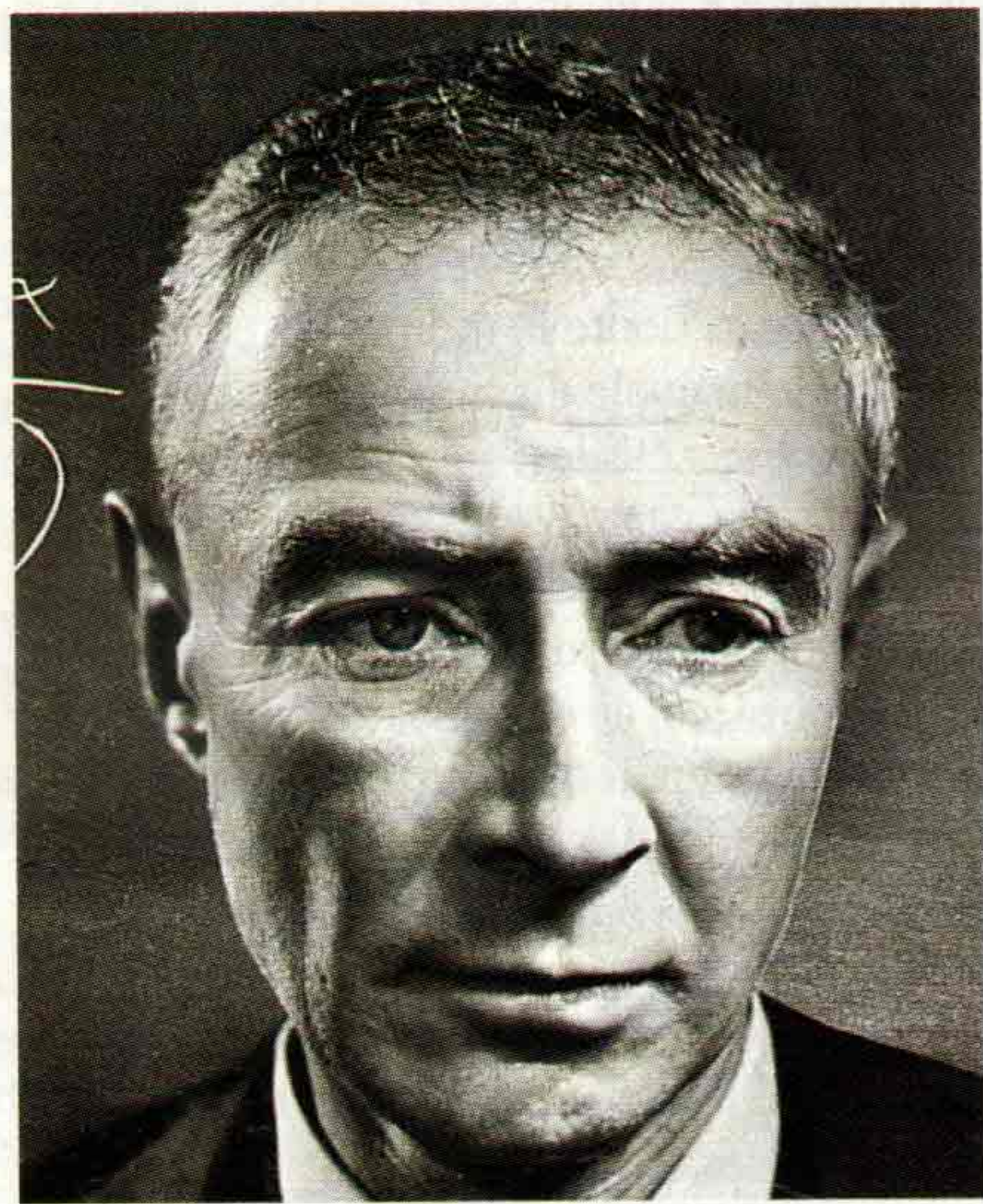
Copenhague en 1941 et, à présent dans deux camps opposés, avaient été très prudents dans leurs conversations. Mais nous avons été convaincus que l'Allemagne travaillait sur la bombe. Nous ne pouvions pas savoir qu'elle était loin du but.

C. et E. : Vous avez assisté au test de la première bombe Trinity à Alamogordo, au Nouveau-Mexique...

H. B. : J'ai été très impressionné. C'était comme un éclair géant de magnésium qui a

fait que, pour une fois, tous les grands chercheurs ont constamment échangé des idées.

C. et E. : Cinquante ans après, il reste difficile de comprendre comment tous ces scientifiques ont pu poursuivre jusqu'au bout la mise au point d'une telle arme. Au début du projet, il était plausible d'imagi-



Robert Oppenheimer lui-même finira par voir ses certitudes ébranlées. On lui prête une citation du Mahabharata : "Maintenant, je suis devenu la Mort, le destructeur des Mondes."



Edward Teller restera dans l'histoire comme l'un des partisans les plus forcenés de l'arme nucléaire. Dès Los Alamos, il ne démord pas du projet de fabrication de la bombe H.

ner l'Allemagne sur le chemin de la bombe atomique mais dès 1944, une telle éventualité avait été écartée.

H. B. : Nous ne l'avons jamais su. Nous l'avons ignoré jusqu'à la fin de la guerre. Heisenberg et Bohr, qui étaient très bons amis avant la guerre, s'étaient rencontrés à

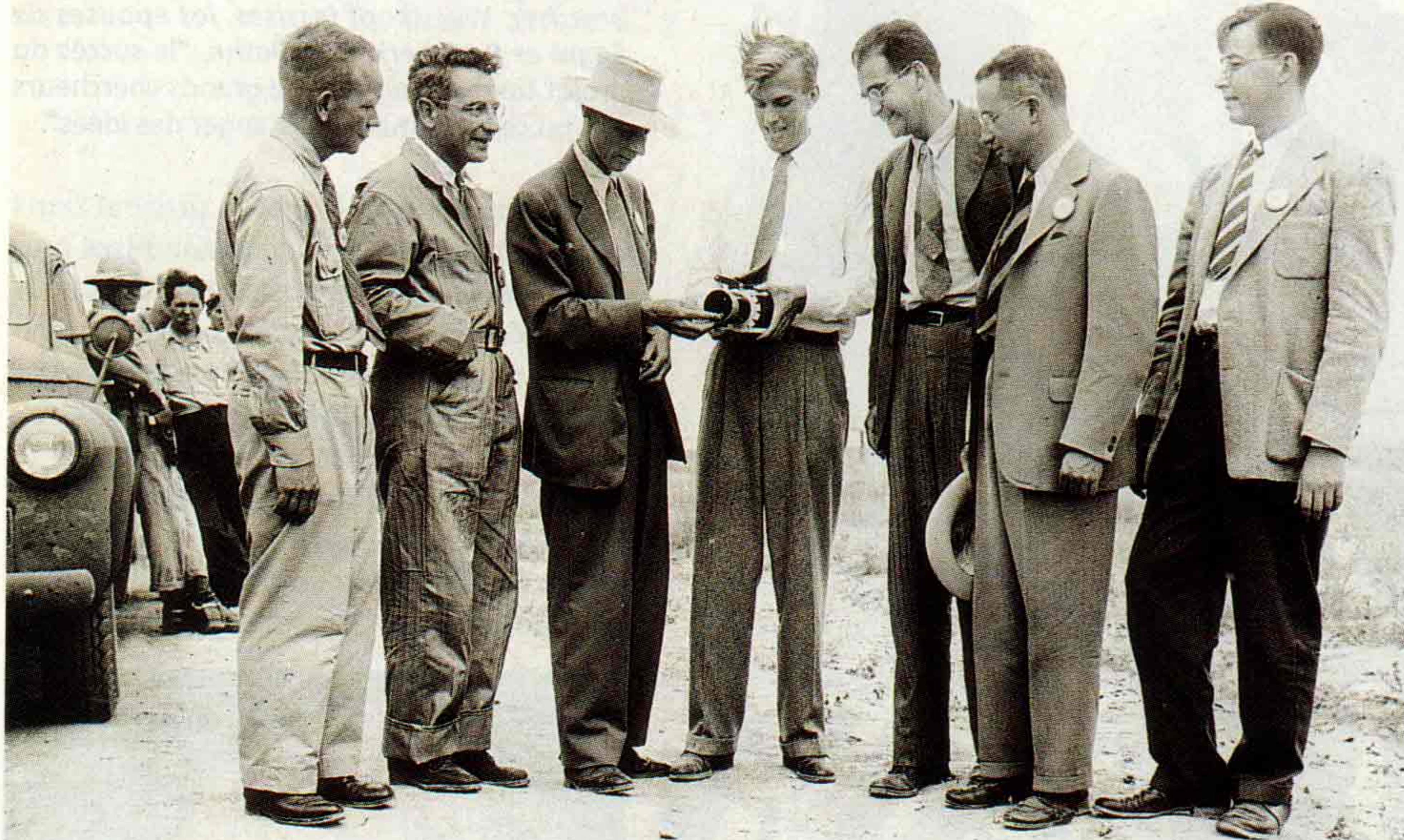


À l'opposé de Teller, Joseph Rotblat quittera Los Alamos lorsqu'il comprendra que la réelle motivation du projet est d'engager un bras de fer nucléaire avec les Soviétiques.

semblé se prolonger une minute bien qu'il n'ait duré en fait qu'une à deux secondes. Immédiatement après, nous avons été conduits en Jeep au quartier général pour évaluer la force de la bombe. Franchement, pour nous, c'était un grand succès. J'avais conscience que la bombe serait utilisée mais, selon moi, Truman a eu raison. Les bombes sur le Japon ont sans doute sauvé d'autres vies.

C. et E. : Connaissez-vous les effets à long terme de l'arme atomique, les dégâts et les décès dus aux rayonnements ionisants des dizaines d'années après ?

H. B. : Nous connaissons l'action des rayonnements radioactifs. Pour certaines autres raisons, nous avons choisi de faire exploser les bombes en altitude au-dessus des villes japonaises si bien que les retombées radioactives ont été limitées. Mais ce sont les rayons gamma qui ont tué les gens et beaucoup sont morts de



Nouveau-Mexique, 12 septembre 1945. À l'emplacement exact de la première explosion atomique américaine, des journalistes écoutent les explications données par Oppenheimer (au centre, avec le chapeau).

cancers par la suite. J'avoue que nous ne connaissions pas bien ces effets...

C. et E. : *Il est difficile d'imaginer que la science, qui se comprend d'habitude comme synonyme de progrès, ait pu inventer l'arme atomique. Pour vous, qui est coupable de la bombe ? Les scientifiques, les militaires, les politiciens ?*

H. B. : Les trois à la fois. Les scientifiques sont responsables de l'invention, les politiques de son utilisation et les militaires de l'énorme effort mis dans la course aux armements. J'ai été un membre fondateur de la confédération des scientifiques américains, un des groupes les plus actifs dans la lutte pour le contrôle des armements. J'ai écrit de nombreux articles, toujours opposés à l'énorme arsenal que nous avons accumulé. Mais il y aura toujours des politiciens dangereux qui pensent autrement. J'étais pour que le contrôle des activités atomiques soit confié à l'ONU, mais les Soviétiques n'ont jamais accepté.

C. et E. : *Certains scientifiques opposés à l'arme atomique ont créé le mouvement Pugwash, actuellement présidé par Joseph Rotblat, qui a reçu à ce titre le prix Nobel de la Paix en 1995. Avez-vous participé à leurs travaux ?*

H. B. : J'ai assisté à une seule session en 1961, lors de la crise de Berlin. C'est un excellent mouvement qui a organisé de nombreuses rencontres entre scientifiques américains et soviétiques. Pendant plus d'une dizaine d'années, ce fut la seule organisation où pouvaient se rencontrer des

chercheurs de très haut niveau des deux camps. Depuis 1962, ces contacts sont plus officiels et Pugwash est devenu moins important.

C. et E. : *Après la guerre, vous avez repris vos travaux à l'université de Cornell. Vous avez continué votre activité de physicien sur les réactions nucléaires, mais pourquoi êtes-vous finalement revenu à l'astrophysique ces dernières années ?*

"Il y aura toujours des politiciens pour pousser à l'escalade nucléaire"

H. B. : Tout naturellement parce qu'il s'est posé de nouvelles questions. Vous n'ignorez pas que le problème actuel des neutrinos solaires est directement lié à la température au centre du Soleil et au type de réactions nucléaires qui s'y déroulent. Je suis donc revenu d'abord à mes premières amours. Mais le thème actuellement le plus passionnant est celui des supernovae, sur lequel je travaille avec George Brown ici, à Caltech. Aujourd'hui encore, nous ne savons pas comment faire exploser une étoile. Bien qu'il y ait eu beaucoup de tentatives, aucun modèle n'est vraiment satisfaisant. Certains ont suggéré une explosion "immédiate" : le cœur de l'étoile s'effondre et les couches

externes viennent rebondir dessus. Mais cela ne marche pas... La gravité est trop forte. James Wilson du laboratoire de Livermore a suggéré en 1985 qu'il fallait regarder du côté des neutrinos produits en grand nombre dans l'effondrement. Mais cela ne marche pas toujours. J'ai alors utilisé de simples règles de physique nucléaire pour montrer que, lorsque la matière qui s'effondre sur le cœur subit le choc, toutes les conditions sont réunies durant quelques fractions de seconde pour que des réactions nucléaires se produisent. Exactement comme au centre du Soleil, mais en peut-être 200 millisecondes ! Cette énergie supplémentaire aide à vaincre la gravité et l'explosion a lieu. J'ai soumis cet article récemment à l'*Astrophysical Journal* et je dois à présent batailler ferme avec le rapport du lecteur de la revue qui n'arrive pas à croire à ce résultat.

C. et E. : *Vous avez également étudié le cas de la supernova de 1987 dans le Grand Nuage de Magellan et vous avez proposé qu'il s'y soit formé un trou noir ?*

H. B. : Lorsque le cœur d'une étoile s'effondre, il se forme une étoile à neutrons avec une densité proche de celle des noyaux atomiques eux-mêmes. G. Brown et moi avons remarqué que, dans ce cas, certains noyaux peuvent se condenser tant et si bien que la masse maximale possible de l'étoile à neutrons est alors réduite de près de 10 %. Il peut donc arriver beaucoup plus fréquemment qu'elle se transforme en trou noir. Or, aucune étoile à neutrons n'est décelable dans les restes de SN 1987A...

C. et E. : *Après une existence aussi riche, si vous aviez à retenir un événement privilégié de votre vie, quel serait-il ?*

H. B. : Sans doute le moment précis où j'ai eu l'idée du cycle du carbone pour produire l'énergie des étoiles.

C. et E. : *Si vous deviez avoir un regret ?*

H. B. : Sans doute de n'avoir pas accordé suffisamment d'attention à mes relations personnelles avec les autres. J'ai une femme et deux enfants, trois petits-enfants, mais j'ai quelque peu négligé ma vie personnelle. La science a occupé une grande partie de ma vie.

C. et E. : *Pourtant, vous travaillez encore.*

H. B. : Pourquoi devrais-je m'arrêter ? Toutes mes recherches sont si passionnantes. Je dois encore découvrir comment fonctionne le processus-r de formation des éléments. Hier, je pensais l'avoir trouvé. Aujourd'hui, je ne sais plus. ■