

Georges Charpak et le nucléaire
(both nuclear weapons and nuclear power)

Richard L. Garwin
IBM Fellow Emeritus
IBM, Thomas J. Watson Research Center
Yorktown Heights, NY 10598
www.fas.org/RLG/ www.garwin.us
RLG2@us.ibm.com

Académie des Sciences
Paris, France

March 1, 2011

**Text that is right-justified was skipped in order that the presentation fit the 12-min interval. **

Georges and I first met in late 1959 when I was working in Geneva for six weeks on the U.S. government delegation to the U.N. Ten-Nation Conference on Prevention of Surprise Attack. I visited my Columbia University colleague Leon Lederman at CERN, where he was exploring a major experiment for a precision determination of the $g-2$ of the muon. When I came to CERN with my family in the fall of 1960 for a sabbatical year, I had the unexpected burden and pleasure of leading that group as we made the definitive design and built the tools for that experiment, fully published in 1965.¹ The experiment was in every way a success, and Georges and I (and his wife Dominique and my wife Lois) became close friends. Later, Georges learned of my work a decade earlier at Los Alamos in building the thermonuclear weapon, and of some of my other activities in international security matters. Over the years I was glad to be of some help as Georges made his key contributions to the critical field of charged particle detectors. IBM purchased two of his “spherical multiwire proportional chambers” for x-ray crystal diffraction, which complemented very well work done by Ramesh Agarwal that revolutionized some aspects of x-ray crystallography.

Beginning in 1960 with our first work together at CERN on the experiment to measure “ $g-2$ ” of the muon, I knew Georges as an ingenious and hard working physicist, and one who enjoyed life and friends. His wartime experiences were unknown to me until the publication of *La vie à fil tendu*, where I learned of the iron discipline he and his 100 colleagues imposed on themselves in the sealed railroad wagon in which they were transported from Compiègne to Dachau by the German army in June 1944 for three days without water.

After the completion of the muon $g-2$ experiment and its 1965 publication, Georges and I remained friends and worked together on several of his ideas and projects; he called me his Physics “guru”. He lived with us in New York for many weeks in 1977 in connection with installing in two U.S. centers two of his “spherical multiwire proportional chambers” for x-ray crystal diffraction, which helped to revolutionize x-ray crystallography.

Following his Nobel, Georges was increasingly involved in public policy matters in France, of a technical nature (as well as in judging contestants for Marianne), and was member of a commission to review the future of fast reactors, and member of the scientific and ethics committee of AREVA, which reprocesses spent fuel from French, Japanese, and German power reactors.

¹ “The Anomalous Magnetic Moment of the Muon,” by G. Charpak, F.J.M. Farley, R.L. Garwin, T. Muller, J.C. Sens, and A. Zichichi, published in *Il Nuovo Cimento Serie X*, 37, pp. 1241-1363, June 1965.

In June 1995 the French Government announced the decision to resume testing nuclear weapons in order to sign a zero-yield nuclear explosion test ban, ending a moratorium begun by François Mitterand in 1992. Georges was increasingly concerned about the threat to civilization and to all humanity posed by nuclear weapons and was puzzled by arguments against a total test ban, such as the necessity cited by some to permit nuclear explosions with yield less than 2 kg of high explosive equivalent—ten-million-fold less than the yield of the Nagasaki bomb.

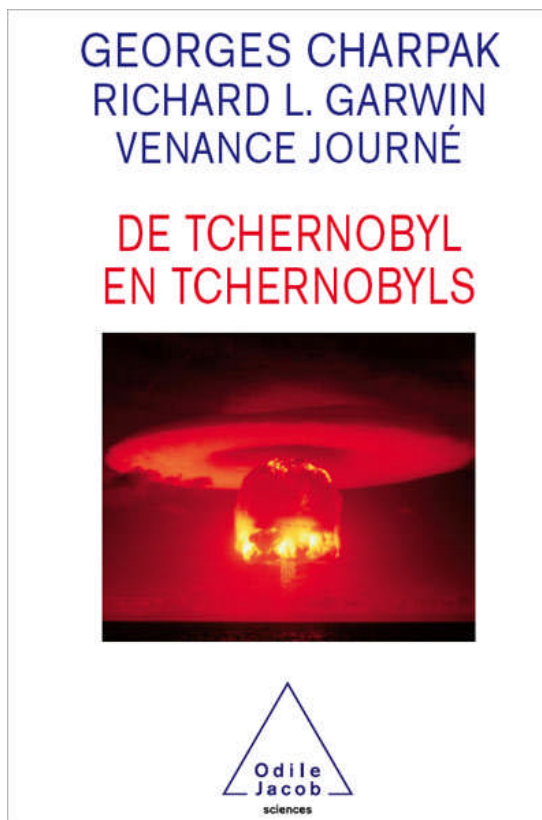
Georges's immediate response to these events to begin to write a book about nuclear weapons to inform his compatriots about nuclear weapons--not much discussed in France, and he enlisted my help. I had played a role in the design of the first American hydrogen bomb and continued my involvement in such matters,

and I had spent a week in Paris in 1994 with two U.S. colleagues, interviewing many public figures about the role of simulation and nuclear testing.



Hiroshima en Octobre 1945

Nuclear weapons and nuclear power both exploit nuclear fission of uranium or plutonium. Hence our 1997 book, *Feux follets et champignons nucléaires*, our 2001 book, *Megawatts and megatons: a turning point in the nuclear age?* and our 2005 book, *De Tchernobyl en tchernobyls*—a clever title whose meaning, predictably, survives neither its rendering in all upper case on the book cover nor its oral communication.



These books are idiosyncratic, like Georges, who wrote with great style in French and loved illustration, whether the cartoons by Sempé, or the fable which he created, as an introduction of our books to a young reader, that ends:

Dans les cinquante dernières années, les jeux avec le noyau de l'atome ont permis de produire l'électricité dont tu t'éclaires, mais ils ont introduit le danger d'une extinction de l'humanité. Ça, c'est un vrai feu à combattre ! Tu devrais apprendre avec tes copains à faire un usage astucieux des atomes qui contribuera au bien-être de tous et non pas à la richesse ou à la puissance démesurée de quelques fous qui, dans leur tête et dans leurs tripes, sont restés à l'âge de pierre.

We reprinted the visionary parable by Arkady Averchenko (1919), *Bon sens pratique*², that might be taken to presage the warning by President Dwight D. Eisenhower as he left office in January 1961, of the hazard of undue influence of the military-industrial complex. After quoting several

² “*De Tchernobyl en tchernobyls*,” G. Charpak, R.L. Garwin, V. Journé, (Odile Jacob, Paris, 2005), pp. 297-301

paragraphs, we write,³ *“Nous pensons que la situation actuelle est plus dangereuse qu’à l’époque d’Eisenhower, en partie à cause de la croissance énorme du nombre et du pouvoir des groupes de pression et à cause de l’attitude de plus en plus répandue consistant à subordonner les faits aux objectifs. Le concept de « honte » semble avoir disparu de la vie publique et les gouvernements ont tendance à être adeptes de la rétention d’information. Beaucoup de responsables pensent que la politique électorale, que ce soit pour les élections parlementaires ou présidentielles, domine les processus de décision publique.”*

Georges was appalled by the vast number of nuclear weapons in the world—95% of them in the armories of the United States and Russia—seeing them as an imminent hazard to the survival of countries and, indeed, civilization.

Enthralled by the film *Dr. Strangelove*, Georges had long had the idea to write a screenplay, which in 1980 during a week in Hollywood, he tried to persuade some studio to turn into a film of his fantasy dealing with the nuclear-armed missiles on the plateau d’Albion.

I have been involved with nuclear weapons, and with the limitation of nuclear weapons, from the first thermonuclear weapon test in November 1952 to the Limited Test Ban Treaty of 1963 that banned all nuclear explosion testing except underground, the Nonproliferation Treaty of 1970, the Limited Test Ban Treaty of 1974 that banned even underground tests above 150 kt of yield, and, ultimately, the CTBT of 1996 that, when it enters into force, will ban all nuclear explosion testing of even microscopic yield. France was among the first to sign the CTBT on 24 September 1996 and ratified in 1998, having closed its nuclear explosion test site in the Pacific.

During the era of atmospheric testing, some 190 megatons yield-equivalent of fission products entered and fell out of the Earth’s atmosphere, from the complete fission of 11,200 kg of uranium or plutonium. The irradiation of the world’s population from fission products of atmospheric testing amounted to about 0.3 years of normal background exposure, but we estimate a death toll from radiation-induced cancer of about 170,000 people. From the 1986 Soviet reactor disaster at Chernobyl, in the Ukraine, cancer from world-wide and regional fallout will probably kill 24,000 people. These numbers are, of course, far smaller than the normal cancer death toll in those same populations, and the details and controversy are fully explored in our books. With the elimination of atmospheric nuclear explosion testing,

³ *Ibid*, pp. 439.

there has evidently been change for the better!⁴

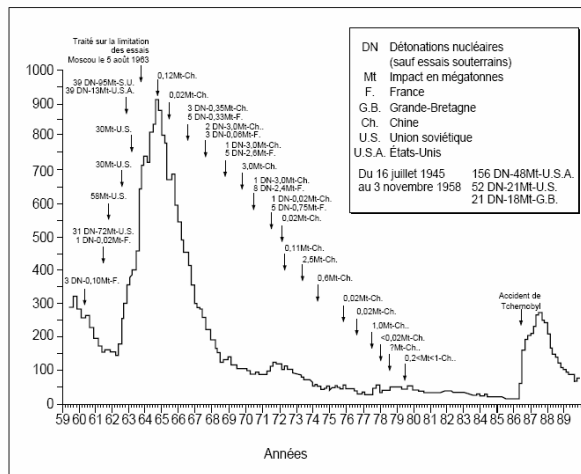
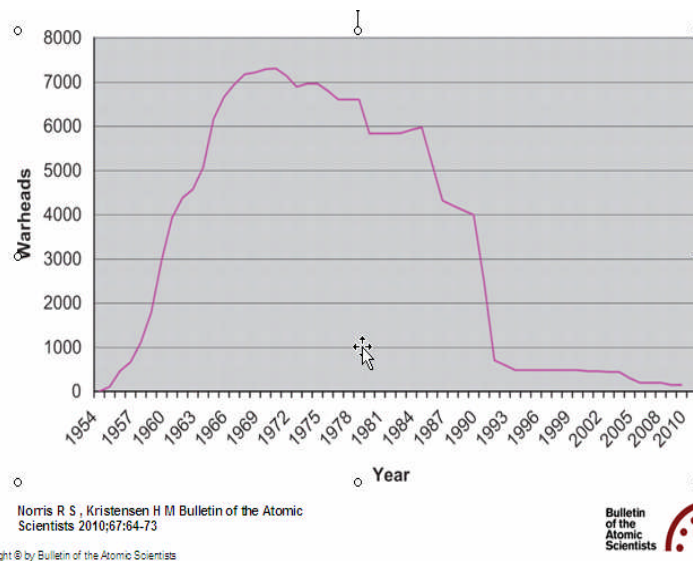


Figure 6 : Mesure de la demi-vie écologique du césium-137 en Belgique¹

(Bq of Cs-137 in typical Belgian men)

With the end of the Cold War and the Soviet Union, it has been possible to make major reductions in some deployed warheads, as exhibited by this chart of U.S. nuclear weapons on the territory of its European allies:



The number as of December 2010 is given as “150-200.” “Why not zero?” Georges would ask.

Résumons⁵ nos propositions pour aboutir à une réduction massive et rapide du stock d’armes nucléaires. Celles-ci sont quasiment identiques à celles

⁴ *Ibid*, p. 134

⁵ *Ibid*, p. 482.

déjà publiées dans le livre *Feux follets et champignons nucléaires* il y a 8 ans, mais décalées d'autant !

1. En 2006, la Russie et les États-Unis pourraient réduire leur arsenal à 2000 têtes pour chaque pays, et instaurer un système bilatéral de comptabilité de toutes les armes et de tout le stock de matériel fissile de qualité militaire en excès par rapport à ce qui est contenu dans les armes permises par les traités. Il n'y aucune raison pour que cela n'ait pas pu être accompli dans les années 1990,

si on lui avait donné la priorité que cela méritait. Le suivi des arrangements bilatéraux devrait être transférés le plus rapidement possible à une organisation internationale qui serait chargée de la surveillance des têtes et des matériaux nucléaires, tandis que les têtes qui doivent être détruites seraient scellées, mises hors d'état de fonctionner, et les matériaux nucléaires qu'elles contiennent alloués irrévocablement à l'industrie civile.

L'uranium de qualité militaire, qui, comme nous l'avons déjà dit, présente un risque majeur de prolifération, pourrait être immédiatement mélangé, à bas coût, à de l'uranium naturel, de façon à atteindre un niveau maximum d'enrichissement en uranium-235 de 19,9 %, valeur maximale pour l'uranium dit « faiblement enrichi ». Cet uranium devrait ensuite être encore plus dilué pour arriver à une concentration inférieure de 4 à 5 % en uranium-235.

Celui-ci pourrait ensuite être vendu, comme combustible pour les réacteurs à eau légère à l'industrie nucléaire civile sous le contrôle du système de garanties de l'Agence Internationale de l'énergie atomique. Selon le souhait des États, le plutonium des armes devrait être stocké de façon sûre jusqu'à ce qu'il soit utilisé dans des réacteurs ou enfoui dans des couches géologiques profondes avec toutes les mesures de sécurité nécessaires.

2. Toutes les puissances nucléaires, déclarées et non déclarées, la Chine, les États-Unis, la France, le Royaume- et la Russie, mais aussi l'Inde, Israël et le Pakistan, devraient adopter des positions, des engagements et finalement un traité de non-emploi en premier d'armes nucléaires.

3. En réponse à cela, la Chine, la France, Israël et le Royaume-Uni réduiraient leur stock d'armes nucléaires dès que les États-Unis et la Russie seraient arrivés à 1 000 armes chacun. Dans une étape ultérieure, les États-Unis et la Russie devraient considérer une réduction de leurs arsenaux respectifs à moins de 300 têtes nucléaires, alors que les autres puissances nucléaires réduiraient le leur pour ne pas dépasser 150 chacun.

4. *En collaboration avec les Nations-unies, les puissances Nucléaires devraient fournir aux États non dotés d'armes nucléaires et parties au Traité de non prolifération, des garanties de sécurité négatives – c'est-à-dire de ne pas utiliser des armes nucléaires contre eux – et positives, en leur assurant une protection au cas où ils seraient menacés par des armes nucléaires.*

5. *Les cinq puissances nucléaires déclarées, ainsi que les autres nations qui voudraient se joindre à ce processus, devraient entamer des négociations et conclure un traité contenant des mesures spécifiques pour aboutir à l'élimination totale des armes nucléaires. L'Inde, le Pakistan et Israël devraient faire partie de ce régime.*

Les armes nucléaires des arsenaux nationaux ne pourraient éventuellement être utilisées qu'exclusivement avec l'autorisation d'une autorité internationale ; cette étape pourrait être suivie par le transfert d'arsenaux nucléaires nationaux à cette autorité internationale, dès que les tailles des arsenaux auraient atteint quelques unités.

Alors que l'élimination totale des armes nucléaires ou le transfert d'une petite quantité d'armes nucléaires à une autorité internationale n'ont de réelles possibilités de se produire que si les nations du monde réussissent à mettre en place un meilleur système de sécurité internationale, les premières étapes vers cet objectif ne dépendent que de la transparence et de la volonté des parties en présence.

The course recommended in “*De Tchernobyl en tchernobyls,*” which, in turn, has a long history, was urged by four American statesmen in a widely read article published January 2007.⁶

With the election of Nicolas Sarkozy as President of the French Republic in May 2007, Georges immediately thought of urging him to play the critical role as leader of the second rank of nuclear weapon states, in offering assurances of reduction in their nuclear weapon inventories to encourage major disarmament by Russia and the United States, and even to indicate that France would take seriously the elimination of its nuclear weapons in the context of complete nuclear disarmament. Georges did meet with the Foreign Minister but mobility difficulties may have kept him from meeting with the President. More broadly, Georges judged the President's dedication

⁶ “A World Free of Nuclear Weapons,” by G.P.Shultz, W.J.Perry, H.A.Kissinger, and S.Nunn, *The Wall Street Journal*, January 4, 2007.

of a new aircraft carrier a missed opportunity to declare the end of an era of misuse of technology and diversion of resources from the needs of society in general and from youth in particular.



Four nuclear reactors at the Cattenom nuclear power plant in France



Three-reactor NPP at Itaka, Japan

**NUCLEAR POWER IS A MIRACLE,
ANALOGOUS TO FIRE**

Felice Ippolito Lecture
Ippolito Lecture 3.doc

05/22/08
Richard L. Garwin

2

Much of our books deals with commercial nuclear power, which now supplies 16% of the world's electrical energy. It turned out that we were both in favor of an expansion of safe, reliable, economic nuclear power, but we initially differed on the utility of reprocessing of light-water reactor fuel if it were to be used only to make mixed-oxide ceramic fuel (MOX) to fuel more LWRs—a process that could save no more than 20% of the raw uranium otherwise needed. We judged that was a matter of detail rather than principle—the principles being

1. Adequate, almost perfect safety, in operation and throughout the fuel cycle
2. Competitive economics, including costs to ensure safety and that the fuel cycle not contribute to proliferation of nuclear weapons
3. Inherent in (1) and (2) are the assurance of fuel supply through the 60-year life of a reactor, and the availability of permanent disposal of the spent fuel from the reactor.

On the important matter of the supply curve for uranium—i.e., marginal cost per kg of uranium as a function of millions of tons of uranium produced—200 tons of raw uranium are needed each year to supply each of the current design of light-water reactors supplying one million kilowatts of electrical power. Some 400 such full-size reactors

currently consume 80,000 tons of raw uranium annually to produce 16% of the world's electrical power.

To produce 100% of a doubled world electrical power consumption would consume annually one million tons of uranium. Reprocessing and recycling of spent fuel into existing reactors could reduce this consumption by no more than 20%. The supply curve for terrestrial uranium is uncertain, as indicated by this table⁷,

Tableau 7.3 : Estimation des réserves d'uranium à des prix de 80, 130 et 260 dollars par kilogramme (avec une estimation de 2,1 millions de tonnes d'uranium exploitables à un prix de 40 dollars le kilogramme)¹.

Source	Long-term of Elasticity of Supply, E	R (million tonnes uranium) for p less than or equal to		
		\$80/kg U	\$130/kg U	\$260/kg U
Uranium Information Centre ⁶⁶	3,32	21	105	500
Deffeyes and MacGregor ⁶⁷	2,48	12	40	220
Generation IV group ¹⁶	2,35	11	34	170

In contrast there is 4 billion tons of uranium in the ocean water of the world, and work in Japan has demonstrated the extraction of kilograms of U from adsorbents in the warm currents, with rough estimates of at-scale cost of \$100-\$300 kg of uranium.

On these essential points, we concluded,

Ibid., p. 476p: Nous soulignons le fait que le retraitement est nécessaire et même profitable si le prix de l'uranium en venait à augmenter considérablement et s'il s'avérait que la mise au point de nouveaux surgénérateurs donnait à ceux-ci une place importante dans la future offer d'électricité. Mais en attendant, la production de combustible Mox pur est une activité coûteuse et le Mox doit être surveillé et protégé pour éviter qu'il ne puisse contribuer à la prolifération ou même à des actes criminels. Comme nous l'avons discuté au chapitre 5, les nouvelles installations de retraitement au Japon, aux États-Unis, ou ailleurs, ne sont pas économiquement rentables. En prenant l'exemple de l'usine de Rokkasho, alors que l'uranium naturel vaut actuellement 30, le prix du combustible retraité revient à un prix équivalent 962 dollars le kilogramme d'uranium naturel économisé, en ne comptant que le coût de fonctionnement de l'usine ; si on inclut une valeur de 10 % pour les intérêts, les réparations et la modernisation, ce prix monterait à

⁷ Charpak, et al, op. cit., p. 268.

2 200 dollars le kilogramme. Une telle politique ajoute des coûts substantiels à la production d'énergie nucléaire et réduit donc sensiblement son attractivité.

A long terme, s'il s'avérait que le coût de l'uranium de l'eau de mer était finalement plus cher que 1 000 dollars le kilogramme, les surgénérateurs redeviendraient peut-être nécessaires et il serait temps de retraiter le combustible usé, ce qui pourrait être fait à un coût très inférieur.

Pour le moment, le public devrait être informé de l'importance de la poursuite de la recherche sur le retraitement, sur la mise au point de surgénérateurs sûrs et moins chers, sur le besoin de financer de façon urgente des travaux sur l'extraction des ressources d'uranium de l'eau de mer, et sur la création de sites géologiques profonds adaptés au stockage du combustible usé.⁸

La mise en service d'un ou plusieurs sites géologiques pour le stockage définitive des déchets nucléaires, sous le strict contrôle de l'agence internationale de l'énergie Atomique, pourrait aller le pair avec la proposition des pays européens [for an assured supply of reactor fuel].⁹

Georges Charpak's inventions, combined with his charisma, revolutionized experimental particle physics. In the field of nuclear arms limitation and the expansion of safe, economical nuclear power, his legacy is his books—informative, fun to read, and a guide to a safer and more secure future.

In addition, his friendship has enriched us all.

⁸ *Ibid*, p. 188.

⁹ *Ibid*, p. 477