

**DU COMBUSTIBLE NUCLÉAIRE AUX DÉCHETS :
RECHERCHES ACTUELLES**
FROM NUCLEAR FUELS TO WASTE: CURRENT RESEARCH

Foreword

The severe concerns related to climate changes due to the greenhouse effect generated by human activities, will presumably modify the perception of the interest of energy production by nuclear fission. However, the future of electronuclear programs, particularly important in France, since they generate 80% of the electricity, is closely linked to our ability to solve the problem of nuclear waste. Every country which uses this form of energy is facing the same questions:

- should one reprocess the nuclear fuel to extract the active elements, the most important by far being Plutonium?
- does the recycling of Plutonium in the mixed fuel MOX, which has the advantage of extending the fuel resources and decreasing the Plutonium stock, lead to new waste management problems? Is multirecycling a better solution?
- should one simply store all waste, and thereby allow the formation of Plutonium mines?
- do the present means of confinement of waste and our understanding of the geological evolution allow for deep repositories for waste?
- is the prospect of the transmutation of plutonium, and other actinides, by nuclear reaction, realistic?

These are some of the questions which come to the mind of citizens who wish to ground their opinion on a rational consideration of the available facts. The decisions to be taken by members of legislative bodies, the only people endowed with democratic legitimacy, are thus confronted with the limitations of our scientific understanding of those matters. In a remarkable and unique decision of the French Parliament, a bill was voted in December 1991, which makes it necessary for scientists of public establishments to conduct research on waste management, in order to reduce the uncertainties, before decisions are taken. The bill stipulates that it is necessary to work simultaneously on storage, deep repositories and transmutation, with a report on the results in 2006.

The Académie des Sciences wishes to present the readers of the *Comptes Rendus* a selection of articles which demonstrate the nature and the diversity of present research in this area, the difficulties concerning some of the issues, the superior status of the understanding of others. To this effect, an international workshop was organized at the Académie in December 2001, at the initiative of Drs Birkhofer, Dautray, Dercourt, Guillemot, Tissot and myself. For three days, the researchers active in these fields have presented reports on the status of their investigations. The present issue of the *Comptes Rendus* is a written presentation of most of the papers presented orally at this Workshop. Discussions which followed each presentation during the Workshop have been kept whenever their record was available. This issue is a combination of articles which report new original results, in accordance with the tradition of the *Comptes Rendus*: however, it has been decided to include some review articles whose scope is to summarize the status of research, which in some cases has been already developing for a significant period. In particular, we are grateful to our German, American, Swedish and Swiss colleagues who have presented the status of some of the research in their respective countries.

In order to provide some idea of the extent and of the diversity of research connected to waste management, let me list the chapters which have led to the presentations and articles of this issue: the design constraints of nuclear fuel, Plutonium and minor actinides, the processing of spent nuclear fuels,

the confinement of radioactive materials in organic and mineral matrix filters, the problem of storage of B class waste, the storage of high activity waste (class C) in pools, the long-term performance of spent fuel in geological repositories, the issues related to the long-term extrapolation of corrosion resistance of containers for radioactive elements and the study of the scientific reliability over a long period, a presentation of the Swedish containers for spent fuel and other wastes, studies on mechanical behaviour of structural metallic materials used in the nuclear industry, the studies of the factors governing dilution and migration of radionucleotides, migration phenomena in clay, aquifers and surface water, geomechanical issues related to the long-term geological isolation of nuclear waste, studies on transmutation and innovative nuclear reactors, studies on Thorium as an alternative nuclear fuel, studies of the effect of ionising radiation in the living tissue, in particular the study of the level of pathogenic effects due to a low dose or a low rate of radiation, and finally studies related to safety issues, proliferation and reprocessing, . . .

The only criterion for the selection of the authors who have been invited to present a contribution, is their competence in these issues, irrespective of the particular research institution to which they belong. This issue does not contain any statement of the views of the main French establishments connected to those questions, such as the CEA, the ANDRA, EdF or academic research institutions. This is not due to any lack of confidence on our part about the excellence of their work on nuclear waste, but it follows from the fact we were only concerned with a scientific approach.

The texts which follow are often the result of a pedagogical effort aiming at presenting these questions to a reader wishing to be informed, but who does not necessarily belong to the world of nuclear research. My involvement is not related to any competence, since I lack competence in this area, but from the belief that it is possible to form an individual opinion in these matters, without being dependent of sometimes questionable external sources.

However it is sometimes necessary to know a few words which are so commonly used by specialists, and that they do not always define. For instance, the classification of waste in three classes A, B or C, correspond to its activity. The weakly radioactive class A waste is stored in specialized centers and does not present any particularly worrisome character. The average activity B waste represents only a small share of the annual radioactivity generated by the nuclear industry in France (3%), but its volume is important and it is the subject of many of the studies reported in this issue. For the high activity C waste, strongly active over long periods, it is necessary to wait for a decrease in the heat emission before considering any geological deposition.

We advise the reader who would like to extend his knowledge related to the questions exposed here, to read the remarkable report by Robert Daustray [1] “*L’énergie nucléaire civile dans le cadre temporel des changements climatiques*”, which has been presented at the Académie in December 2001.

Avant-propos

Les graves préoccupations liées aux changements climatiques dus à l’effet de serre engendré par les activités humaines, vont sans doute modifier la perception de l’intérêt de la production d’énergie par fission des noyaux atomiques. Or l’avenir des programmes électronucléaires, dont on connaît l’importance actuelle en France, 80 % de la production d’électricité, lorsque les réacteurs aujourd’hui en service auront achevé leur cycle de vie, dépend étroitement de nos capacités à résoudre les problèmes posés par les déchets. Tous les pays qui font appel à cette forme d’énergie sont placés face aux mêmes interrogations :

- faut-il retraiter les combustibles usés pour en extraire les éléments les plus actifs dominés par le plutonium ?*
- le réemploi du plutonium dans le combustible mixte, le MOX, afin de prolonger les ressources en combustible, et de réduire le stock de plutonium, conduit-il à d’autres types de problèmes pour les déchets de cette filière ? que penser de l’éventualité du multirecyclage ?*

- faut-il se contenter d'entreposer les déchets, et donc d'admettre la constitution de gisements de plutonium ?
- les moyens de confinement des déchets et nos connaissances de la géologie autorisent-ils un stockage profond ?
- les perspectives de transmutation du plutonium et autres actinides, par réaction nucléaire, sont-elles réalistes ?

Telles sont quelques-unes des questions que se posent tous les citoyens désireux de fonder leur opinion sur un examen rationnel des faits dont nous disposons aujourd'hui.

Les décisions qui devront être prises par les pouvoirs législatifs, seuls détenteurs de la légitimité démocratique, sont donc confrontées à la limitation de nos connaissances scientifiques en ces matières. Dans un mouvement remarquable, et me semble-t-il unique en son genre, le parlement français a voté une loi le 30/12/91, qui exige des scientifiques de conduire des recherches sur les perspectives et problèmes posés par les déchets nucléaires, afin de réduire les incertitudes et de conduire ainsi à des prises de décisions mieux éclairées. La loi précise même qu'il faut étudier simultanément l'entreposage, le stockage et la transmutation, un premier bilan devant être dressé après quinze années d'études.

L'Académie des Sciences a souhaité présenter aux lecteurs des Comptes rendus quelques articles qui montrent la nature et la diversité des recherches en cours, la pluralité des questions posées, la difficulté de certaines, le bon avancement de la compréhension de quelques autres. À cet effet une rencontre internationale a été organisée à l'Académie en Décembre 2001 à l'initiative de MM Birkhofer, Daustray, Dercourt, Guillemot, Tissot et moi-même. Pendant trois jours, les acteurs des recherches en cours ont présenté l'état de leurs travaux. Ce numéro des Comptes rendus reprend donc l'essentiel des présentations faites lors de ces journées. Nous avons gardé à la suite des présentations écrites, une rédaction des questions et réponses qui avaient été suscitées par la présentation orale. On trouvera donc dans ce numéro des articles qui, souvent, présentent des résultats originaux de recherches en cours, conformément à la vocation de nos Comptes rendus, mais nous avons également inclus des présentations qui sont plutôt des mises au point sur des programmes de recherche, poursuivis depuis de nombreuses années sur certaines questions. En particulier, nous sommes reconnaissants à nos collègues allemands, américains, suédois ou suisses, de nous avoir montré l'état d'avancement de certaines de ces recherches dans leurs pays respectifs.

Pour donner une idée de l'ampleur et de la diversité des recherches impliquées par le problème des déchets, que l'on me permette une simple énumération des chapitres qui ont conduit aux exposés et aux articles correspondants de ce numéro : les contraintes de conception du combustible nucléaire, le plutonium et les actinides mineurs, le traitement physicochimique des combustibles irradiés et la séparation des actinides à vie longue, le confinement des radionucléides dans des matrices organiques ou minérales, les problèmes liés à l'entreposage des déchets de classe B, le stockage en piscine des déchets de haute énergie (déchets C), le comportement à long terme des combustibles usés placés dans des stockages souterrains, la corrosion des matériaux de conteneurs pour les matériaux à vie longue et l'étude de la fiabilité scientifique à long terme, la présentation des conteneurs suédois conçus pour combustible usé et autres matériaux irradiés, les études sur la tenue mécanique des matériaux métalliques de structure utilisés dans l'industrie nucléaire, l'étude des facteurs gouvernant la dilution et la migration des radionucléides dans les argiles, les aquifères et les eaux de surface, les enjeux géomécaniques de l'isolement des déchets, les facteurs contrôlant la migration et la dilution des radionucléides, les études sur la transmutation et les réacteurs innovants, les études concernant la filière Thorium, les effets des irradiations sur le vivant et en particulier les données sur les effets pathogènes induits par les faibles doses, et enfin un examen des problèmes liés à la sûreté nucléaire, celle des stockages géologiques, et enfin les problèmes de prolifération liés au retraitement.

Les intervenants ont été invités à présenter une contribution en raison de leur seule compétence, sans qu'il soit porté une attention particulière à l'organisme de recherche auquel ils appartient. On ne trouvera dans ce numéro aucune explicitation des vues des grands acteurs de ces questions, en France

le CEA, l'ANDRA, EDF ainsi que de nombreux chercheurs du monde académique. Ceci n'est en rien l'expression d'une défiance, mais le résultat d'une démarche à but exclusivement cognitif.

Les textes contenus dans ce numéro sont le résultat d'un effort pour présenter les questions étudiées à un lecteur désireux de s'informer, mais n'appartenant pas nécessairement au monde de la recherche nucléaire. Mon intervention ici n'est pas l'effet de ma compétence, inexistante en ces domaines, mais de la conviction qu'il est possible de se faire une opinion individuelle sans être tributaire de quiconque. Il est parfois nécessaire de connaître quelques termes, si familiers aux spécialistes qu'ils ne sont pas toujours redéfinis. Ainsi la classification des déchets en classes A, B ou C correspond à leur radioactivité. Les déchets A faiblement radioactifs sont stockés dans des centres spécialisés et ils ne présentent a priori aucune difficulté préoccupante. Les déchets B moyennement radioactifs, si leur activité n'est qu'une faible fraction de la radioactivité produite en France (3%), ils représentent un volume important et font l'objet de beaucoup des recherches abordées dans ce numéro. Les déchets C issus du retraitement, sont fortement radioactifs pendant des durées substantielles et il faut attendre une décroissance du dégagement de chaleur avant de considérer leur enfouissement éventuel. Nous engageons vivement le lecteur qui souhaiterait acquérir les notions relatives aux questions abordées dans ce numéro, de s'aider du remarquable rapport de Robert Dautray [1] «L'énergie nucléaire civile dans le cadre temporel des changements climatiques» présenté à l'Académie des Sciences en Décembre 2001.

Édouard Brézin
Membre de l'Académie des Sciences

Références bibliographiques

- [1] R. Dautray, L'énergie nucléaire civile dans le cadre temporel des changements climatiques (Nuclear energy in the context of climatic transitions), Report to the French Academy of Sciences, Editions Tec&Doc, 2001.