

# Les solutions pour les déchets nucléaires

BRUNO COMBY\*

Association des Ecologistes Pour le Nucleaire, 55 rue Victor Hugo, 78800 Houilles, France,

*(Received in final form 13 October 2005)*

The subject of nuclear waste is often discussed in public debates on energy, and is used by some environmental groups to oppose nuclear energy. Such opposition is not backed by any solid scientific facts. This article proposes a new insight, from an environmental perspective, on the nuclear waste issue. Nuclear waste has undeniable environmental benefits: it is produced in relatively small amounts. It is not disposed of in the open and are almost totally confined. It is very easy to ensure protection from identified sources of radiation. Unlike with other highly toxic stable chemical and industrial waste matter, the toxicity of reprocessed radioactive waste decreases very rapidly in an exponential manner with time, returning to the natural level of radioactivity of the original ore after only 5000 years. Safe, simple and efficient solutions exist to make nuclear waste inert by vitrification and to isolate the waste from the biosphere until it is no longer toxic. The natural nuclear reactors of Oklo in Gabon, which self-ignited two billion years ago, are a source of essential information today which shows the absence of migration by the waste, which has not migrated more than three metres even after being left for two billion years without any confinement. The recurring question of nuclear waste therefore appears to be technically and ecologically entirely solved by combining the use of reprocessing technology, confinement, vitrification and geological disposal, but still faces the issue of social acceptance, which implies a need for better information for the public, and especially the environmentalists, about these questions.

*Keywords:* nuclear waste; radioactivity; confinement management; reprocessing; environment; natural radioactivity; Oklo; plutonium; transmutation; geological disposal

La question des déchets nucléaires revient souvent dans les débats publics sur l'énergie comme un argument utilisé par certains groupes écologiques pour s'opposer au nucléaire. Cette opposition ne repose toutefois sur aucune base scientifique ou environnementale solide. Cet article propose un nouveau point de vue, sous un angle écologique, sur cette question essentielle du devenir des déchets nucléaires. Les déchets nucléaires présentent en effet des avantages écologiques indéniables: ils sont produits en quantités relativement faibles. Ils ne sont pas rejetés dans l'environnement et sont quasi-totalement confinés. Il est très facile de se protéger contre les effets des rayonnements. Contrairement aux déchets industriels chimiques stables, la radiotoxicité des déchets nucléaires retraités diminue très rapidement avec le temps pour rejoindre au bout de 5000 ans environ la radioactivité naturelle du minerai d'origine. Des solutions sûres, simples et efficaces existent pour rendre les déchets nucléaires inertes en les vitrifiant et pour les isoler de la biosphère jusqu'à ce qu'ils ne soient plus toxiques. Les réacteurs naturels d'Oklo qui ont fonctionné spontanément dans la nature au Gabon il y a deux milliards d'années nous apportent à ce sujet des informations essentielles sur la migration quasi-inexistante des déchets nucléaires dans le sol, n'ayant pas migré de plus de trois mètres même après deux milliards d'années laissés à eux-mêmes sans le moindre confinement. La question récurrente du devenir des déchets nucléaires apparaît ainsi comme définitivement résolue sur le plan technique et écologique, en combinant les technologies de retraitement, confinement, vitrification et stockage géologique, mais se heurte cependant encore à une mauvaise acceptation sociale, qui implique de mieux informer les populations, et notamment les spécialistes de l'environnement, sur ces questions.

---

\*Email: [aepn@ecolo.org](mailto:aepn@ecolo.org)

Mots-clés: déchets nucléaires; radioactivité; confinement; gestion; retraitement; environnement; radioactivité naturel; Oklo; plutonium; transmutation; stockage géologique

« On ne subit pas l'avenir, on le fait. »

Georges Bernanos

## 1. Introduction

Parmi les déchets nucléaires, on distingue ceux à vie courte, dont la radioactivité ne pose pas de problème car elle disparaît rapidement, et ceux de faible radioactivité (du même ordre de grandeur que la radioactivité naturelle) qui ne sont pas dangereux en raison des faibles doses de radiations qu'ils émettent. Seul le devenir des déchets de forte et de moyenne activité initiale à vie longue est encore en suspens. La plus grande partie d'entre eux proviennent de la filière électro-nucléaire et sont pour l'instant entreposés provisoirement. Il s'agit en particulier des combustibles usés récemment sortis des réacteurs, n'ayant pas encore été retraités, stockés en piscine, et des produits de fission retraités, vitrifiés, stockés à sec dans des conteneurs en inox à La Hague en France, ou à Sellafield en Grande Bretagne.

Les résultats des recherches menées par les équipes scientifiques dans de nombreux pays et notamment en France [1], montrent que les trois voies explorées (transmutation en éléments à vie plus courte, entreposage en surface ou sub-surface, et stockage en profondeur) sont complémentaires. Il s'agit d'articuler le mieux possible ces trois orientations entre elles pour définir la meilleure solution.

Autrement dit, il existe non pas *une* mais *des* solutions possibles pour la gestion des déchets nucléaires.

Le combustible usé sortant des réacteurs contient encore 95% d'uranium non brûlé et 1% de plutonium, tous deux avec un fort potentiel énergétique, réutilisable. Les ressources de la planète étant limitées, ce serait un immense gaspillage de ne pas les récupérer. Le retraitement-recyclage, tel qu'il est pratiqué à l'usine de La Hague en France, à Sellafield en Grande Bretagne ou à Rokkasho-mura en Japon, est écologique par principe et doit donc être poursuivi. Il permet une réduction importante à la fois du volume, de la toxicité et de la durée de la radiotoxicité globale des déchets ultimes obtenus, lesquels sont alors vitrifiés, ce qui les rend chimiquement inertes, quasiment inaltérables.

Le volume des déchets nucléaires radioactifs de haute activité vitrifiés, correspondant à la consommation électrique d'un citoyen français pendant toute sa vie, représente à peine le volume d'une balle de golf (voir figure 1).



Figure 1. © Photo Credit IBC.

## 2. Un million de fois moins de déchets

Un gramme d'uranium délivre en effet autant d'énergie qu'une tonne de pétrole (soit un facteur un million) et ne produit qu'une fraction de gramme de déchets radioactifs, lesquels ne sont pas rejetés dans la nature, mais au contraire soigneusement confinés, retraités, recyclés. La petite fraction non réutilisable (4%) est soigneusement tenue à l'écart des écosystèmes. L'énergie nucléaire a ainsi des atouts considérables, notamment du fait du très faible volume de ses déchets, ce qui permet de très bien s'en occuper, contrairement à d'autres catégories de déchets industriels.

Les déchets nucléaires inquiètent, et certains exagèrent parfois leur dangerosité. Etant fortement radioactifs initialement, ils nécessitent des précautions lorsqu'on les manipule. Mais cette radioactivité initiale décroît rapidement avec le temps.

Plus de 90% de la radioactivité initiale du combustible nucléaire disparaît spontanément dans les dix premières années après son déchargement du réacteur (voir figure 2) et rejoint le

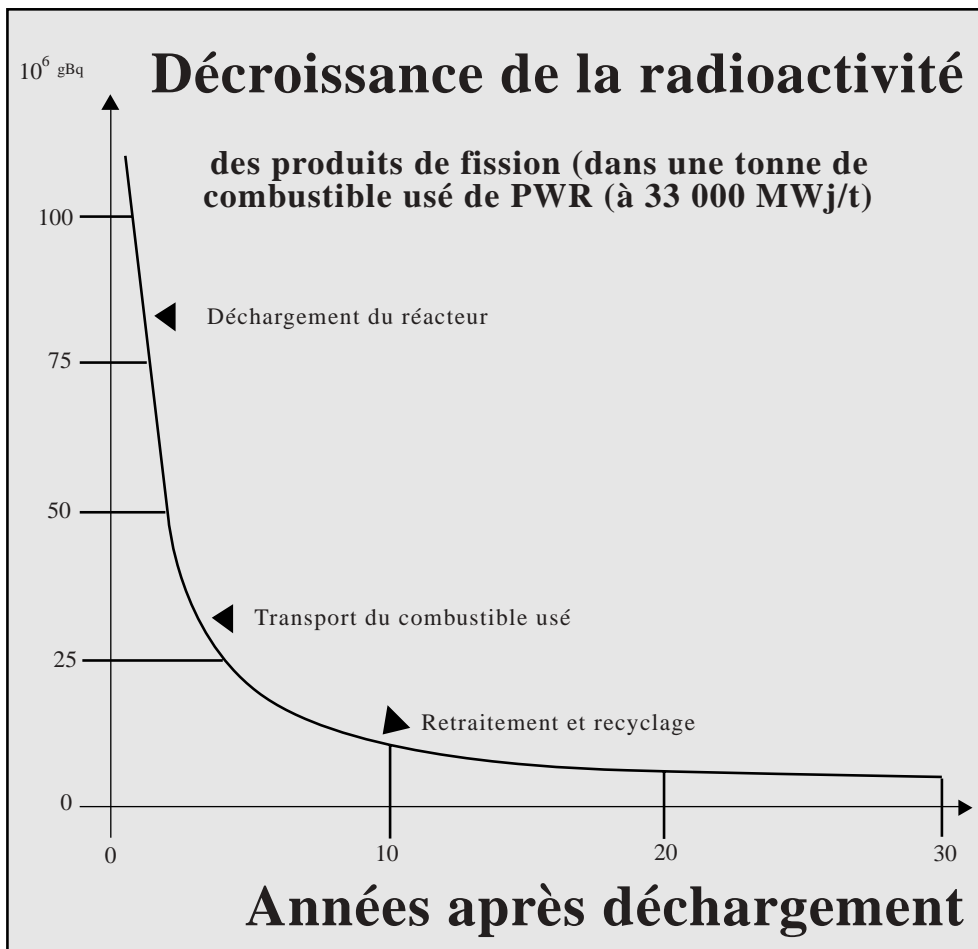


Figure 2. Décroissance de la radioactivité des produits de fission dans une tonne de combustible utilisé de PWR (à 33000 MWj/t)

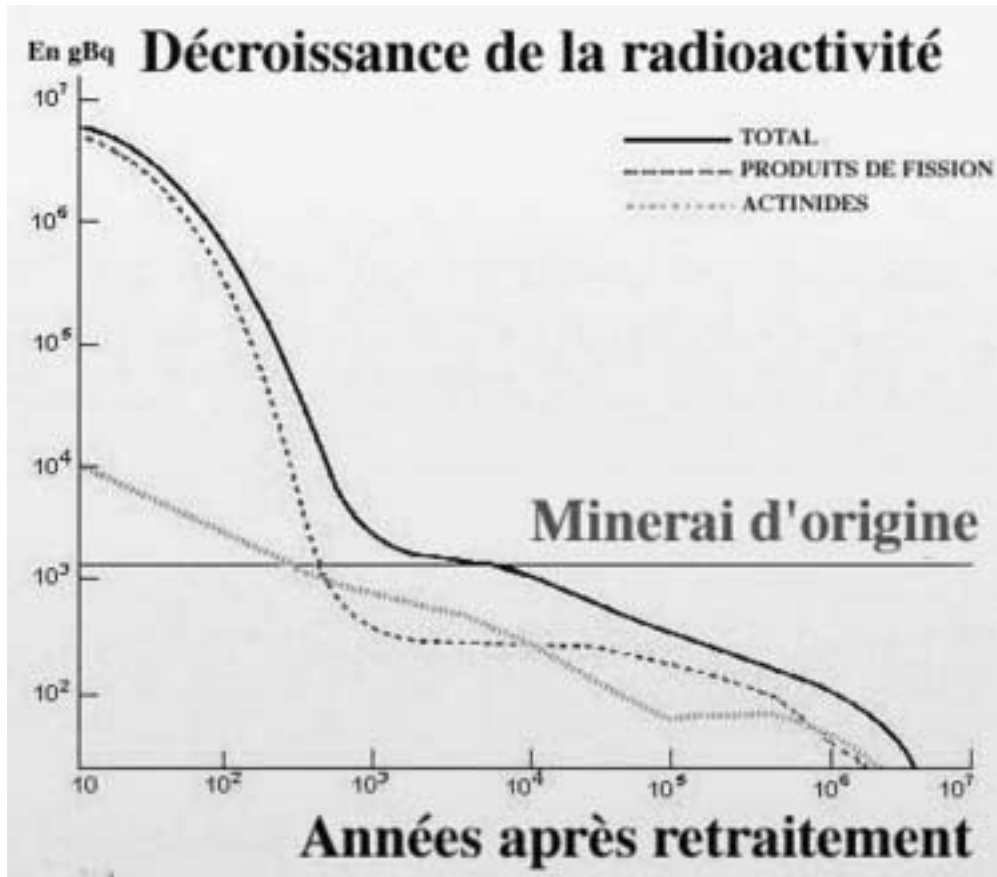


Figure 3. Décroissance de la radioactivité.

niveau de radioactivité du minerai d'origine environ 5000 ans après retraitement (voir figure 3), soit peu de chose à l'échelle des temps géologiques.

Lorsqu'on parle de déchets hautement radioactifs à vie longue, il convient donc d'ajouter le qualificatif de haute radioactivité INITIALE. Cette forte radioactivité n'est pas éternelle et diminue très rapidement, surtout au début, les premières années, du fait du caractère exponentiel de la radioactivité. Les éléments qui demeurent au bout d'un temps plus long ne sont que faiblement radioactifs. Il s'agit en outre d'émetteurs alpha dont il est très facile de se protéger.

De plus les déchets nucléaires, notamment ceux à vie longue, sont des éléments lourds qui sont sous forme solide, donc faciles à confiner par nature. Les déchets radioactifs sont confinés et auto-dégradables, contrairement aux déchets chimiques stables. Ils sont retraités/recyclés ou peuvent l'être. Parmi les différentes sources d'énergie, c'est le nucléaire qui possède de loin le bilan le plus favorable du point de vue de la santé publique [2].

C'est aussi le faible volume des déchets nucléaires qui fait qu'on a pu se permettre d'attendre plusieurs décennies avant de prendre des décisions sur leur devenir. Pendant ce temps, l'humanité continue à rejeter sans vergogne chaque année plus de 25 milliards de tonnes de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère qui réchauffent le climat, ainsi que d'énormes quantités de déchets industriels

hautement toxiques (en plus des oxydes de soufre à l'origine des pluies acides, cendres, métaux lourds, oxydes d'azote, particules pathogènes et cancérogènes...). Notre société produit aussi des quantités bien plus grandes de déchets ménagers et industriels, dont certains – les déchets dits spéciaux – sont hautement toxiques et, étant chimiquement stables, ont une durée de vie infinie [3].

La diminution progressive et rapide de la dangerosité des déchets nucléaires ne justifie cependant pas d'attendre indéfiniment avant de leur trouver un point de chute définitif. Il serait irresponsable que notre génération transmette à nos descendants un problème non résolu et des déchets nucléaires non gérés ou mal conditionnés, fussent-ils en quantités modérées, surtout en sachant que des solutions simples et efficaces existent bel et bien.

Il est facile de se protéger des rayonnements, non pas en faisant appel à des technologies sophistiquées, mais avec de simples écrans (voir figure 4).

Un avantage important de la radioactivité, du point de vue de l'environnement, est qu'elle diminue spontanément avec le temps (loi de décroissance exponentielle). Il suffit donc d'attendre pour que la radioactivité diminue d'elle-même, alors que la durée de vie de la toxicité des déchets chimiques toxiques stables (exemple: le DDT) est presque infinie.

L'homme n'a pas inventé la radioactivité. Tout est radioactif autour de nous, dans la nature. Les faibles doses de radioactivité naturelle, auxquelles nous avons toujours été exposés depuis la nuit des temps, ne sont pas dangereuses. Il est intéressant de savoir que cette radioactivité naturelle est extrêmement variable dans la nature (d'un facteur 1000 d'un lieu géographique à l'autre). On peut ainsi se trouver dans certaines villes, comme à Guarapari au Brésil, à des niveaux d'exposition qui seraient interdits aux travailleurs du nucléaire

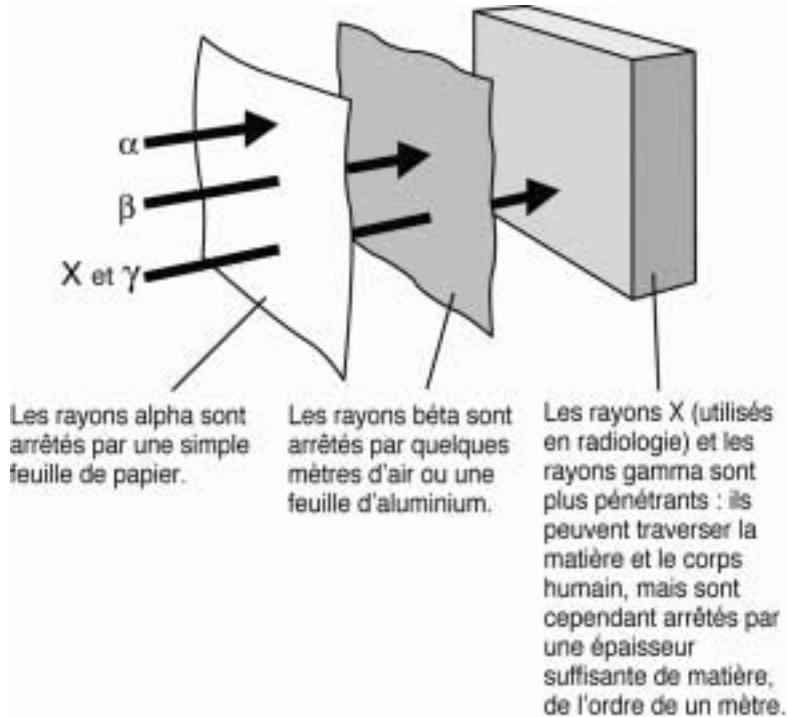


Figure 4. Écrans de protection.



Figure 5. Oklo au Gabon.

dans une centrale ou sur un site de stockage. Pourtant, les habitants de ces régions vivent en bonne santé. Cette radioactivité naturelle diminue avec le temps, à mesure que l'uranium et le thorium présents dans la croûte terrestre se décomposent lentement. La présence de l'homme sur notre planète n'a pas augmenté la radioactivité ambiante, sauf très localement. Au contraire, en consommant l'uranium, nous accélérons même (un tout petit peu), le rythme naturel de décomposition de celui-ci. La Terre était bien plus radioactive lorsque la vie est apparue. Cela n'a pas empêché la vie de s'y développer...

Il y a environ deux milliards d'années, à Oklo au Gabon (voir figure 5), des réactions nucléaires en chaîne se sont produites spontanément dans le sol (comme dans nos réacteurs).

Une quinzaine de réacteurs nucléaires naturels ont ainsi fonctionné à une puissance de l'ordre de 100 kW pendant plus d'un million d'années [4]. Il ne reste plus aucun des produits radioactifs engendrés par la réaction nucléaire, entièrement décomposés. On retrouve cependant aujourd'hui sur place la plupart des descendants stables de ces réactions nucléaires.

Les déchets nucléaires que nous produisons actuellement sont soigneusement confinés, ce qui n'était pas le cas à Oklo. Deux milliards d'années plus tard, on constate que le plutonium et les produits de la réaction d'Oklo, laissés à eux-mêmes, n'ont pas migré plus que quelques mètres (3 m au maximum). Les déchets sont restés dans les roches sédimentaires aux abords immédiats de chaque réacteur, sans même se trouver dispersés par les eaux souterraines pourtant présentes à cet endroit. Les produits des réactions nucléaires sont souvent des éléments solides et lourds, comme le plomb par exemple. Ils sont donc, par nature, peu mobiles.

La connaissance de ces réacteurs naturels d'Oklo apporte ainsi des informations essentielles et rassurantes sur le devenir à long terme des déchets radioactifs. Or, les déchets radioactifs produits aujourd'hui par nos réacteurs seront stockés dans des conditions bien meilleures. Vitrifiés, placés dans des conteneurs en inox, ils seront le moment venu placés dans un terrain spécialement choisi, entourés d'une argile imperméable à l'eau, ce qui n'était pas le cas à Oklo. Il y a donc tout lieu d'être rassuré sur le fait que les déchets ne migreront pas, ou très peu, dans les roches où ils seront placés. Des simulations poussées (Commission Européenne) ainsi que les études ayant été effectuées dans des laboratoires souterrains en Belgique, en Finlande, en Suède, en Suisse, aux Etats-Unis, l'ont d'ailleurs confirmé avec de larges coefficients de sécurité.



Figure 6. Stockage de déchets à Mol en Belgique. (© Photo, Institute Bruno Comby, [www.comby.org](http://www.comby.org))

Les recherches des équipes scientifiques dans de nombreux pays ont permis de confirmer la faisabilité et la sûreté du stockage géologique des déchets nucléaires (voir figure 6). En aucun cas et à aucun moment dans l'avenir, le public ne recevra de doses significatives de radiations. Au début du stockage, les déchets sont bien confinés, donc inoffensifs. Après plusieurs millénaires, seule une très faible fraction des déchets restant alors est susceptible de migrer. Mais comme les produits radioactifs se seront entre temps désintégrés en presque

totalité, cela serait inoffensif également. Même dans le pire des cas et sur le très long terme, les doses reçues par les populations en surface sont insignifiantes par rapport à la radioactivité naturelle.

### 3. La radioactivité est naturelle

Pour parler de radioactivité, il convient de mettre en perspective, par ailleurs, l'existence de la radioactivité dans la nature depuis la nuit des temps. Pour le Professeur James Lovelock, considéré depuis les années 1960 comme le fondateur historique de la pensée écologique et membre de l'AEPN :

<<La Terre s'est formée à partir des scories de la gigantesque explosion nucléaire d'une étoile encore plus grande que notre soleil aujourd'hui. C'est pourquoi il subsiste, encore maintenant, à la surface de la Terre, suffisamment d'uranium pour reconstituer, à très petite échelle, les réactions nucléaires qui se sont produites initialement de manière beaucoup plus intense à la naissance de notre planète.

Il n'y a pas d'autre explication à la grande quantité d'éléments instables que l'on trouve encore sur Terre aujourd'hui. N'importe quel compteur Geiger indique que nous habitons sur les restes d'une gigantesque explosion nucléaire. A l'intérieur même de notre propre corps, environ un demi million d'atomes, rendus instables lors de cette explosion initiale, continuent à se désintégrer à chaque minute, relâchant une infime partie de l'énergie accumulée lors de cette immense explosion initiale il y a très longtemps ...

J'espère qu'il n'est pas trop tard pour que le monde suive la France, et fasse de l'énergie nucléaire notre principale source d'énergie. Il n'y a pas d'autre solution viable, propre, écologique et économiquement acceptable, à la dangereuse habitude que nous avons prise qui consiste à brûler des combustibles fossiles>> [5].

Même la présence d'une certaine quantité de plutonium est naturelle. Celui-ci apparaît spontanément dans l'écorce terrestre sous l'effet du bombardement continu des atomes d'uranium qui s'y trouvent par des rayonnements cosmiques en provenance de l'espace. On compte ainsi plusieurs dizaines de millions d'atomes de plutonium dans chaque pot de fleurs et dans chaque kilo de la terre végétale naturelle de nos jardins, comme dans l'ensemble de la croûte terrestre, ce qui a fait dire à Jacques Pradel que « Le plutonium, c'est naturel! » [6]. Compte tenu de sa valeur énergétique, il convient en tout cas au moins de considérer le plutonium non comme un déchet, mais comme une ressource énergétique de premier plan. A ce sujet, on ne peut que soutenir le redémarrage du réacteur MONJU au Japon et déplorer la fermeture prématurée du réacteur Superphénix en France. En effet, tandis que de nombreux pays se mobilisent pour développer les réacteurs nucléaires du futur dans le cadre du forum *Génération IV*, on redécouvre les vertus écologiques des réacteurs à neutrons rapides (RNR) et notamment des réacteurs à sodium tels que Superphénix. La France avait pris une avance considérable dans ce domaine, qui reviendra inéluctablement à l'ordre du jour, car ces réacteurs seront indispensables à la survie de notre civilisation et au développement durable. Si on brûle dans des RNR les actinides actuellement considérés comme des déchets, il ne reste plus que les produits de fission, dont la durée de vie est considérablement plus courte.





Figure 7. Le Professeur James Lovelock. (© Photo Institut Bruno Comby, [www.comby.org](http://www.comby.org))

De plus les RNR produisent jusqu'à 100 fois plus d'énergie avec un kilo d'uranium naturel. Les Japonais, Chinois, Indiens, et Russes l'ont bien compris. Ils développent activement ces réacteurs produisant encore moins de déchets que nos réacteurs actuels (qui en produisent déjà très peu par rapport à l'immense quantité d'énergie produite).

#### 4. Pour une bonne gestion des déchets nucléaires

Il nous semble donc qu'une bonne gestion écologique des déchets nucléaires de forte et moyenne activité à vie longue consiste à :

**1. Les confiner et les retraiter**, comme c'est le cas aujourd'hui en France, afin de récupérer l'uranium (95%) et le plutonium (1%) réutilisables. On récupère ainsi 96% des combustibles usés qui sont recyclables. Les 4% de déchets restants (déchets ultimes), rendus inertes et insolubles dans l'eau par vitrification, sont placés dans des conteneurs en acier inoxydable (voir figure 8) ce qui les rend inaltérables sur des durées très longues, largement supérieures à la durée de leur toxicité. On pourra peut-être demain séparer aussi certains actinides mineurs (américium, curium, neptunium), réduisant encore davantage le volume des déchets et surtout la durée de leur radiotoxicité. Il faut donc poursuivre les recherches sur la transmutation. Le stockage géologique des combustibles usés envisagé par certains pays tels que les États-Unis, la Suède ou la Finlande n'est pas écologique et doit être reconsidéré en faveur du retraitement.

**2. En diminuer la quantité** : de nouveaux cycles du combustible permettront de diminuer la quantité de déchets produits et peut-être de transmuter une partie d'entre eux. Les recherches



Figure 8. Conteneur en acier inoxydable. (© Photo Institut Bruno Comby, [www.comby.org](http://www.comby.org))

doivent donc être poursuivies sur cette voie. Dans tous les cas, les autres axes restent nécessaires: l'entreposage en amont, et le stockage définitif en profondeur en aval. De même que les Russes ont construit BN600 et prévoient BN800 et que les Japonais poursuivent l'exploitation de Monju, il faudrait envisager de reprendre, dans un cadre européen, la construction d'un réacteur rapide de type EFR [7].

**3. Les entreposer en surface ou sub-surface**, de manière provisoire, comme c'est le cas actuellement à La Hague, à Sellafield ou à Rokkasho-mura pendant quelques dizaines d'années *au maximum*, mais cela ne constitue pas une solution aussi sûre à long terme qu'un stockage en profondeur. L'entreposage en surface ou sub-surface doit notamment être utilisé pour les combustibles en attente de retraitement, et pour laisser refroidir pendant quelques années (ou décennies) les déchets vitrifiés fraîchement retraités avant de les transférer en profondeur. La température plus basse de ces déchets facilitera alors leur stockage souterrain à plus long terme dans de meilleures conditions.

**4. Stocker en couches géologiques profondes les déchets ultimes** sera, dans tous les cas, incontournable et écologiquement nécessaire et utile, pour s'assurer que les substances radioactives restent à l'écart de la biosphère pendant la durée nécessaire au retour à un niveau de radioactivité analogue à celui du minerai naturel d'origine. Cette solution est d'ailleurs recommandée par les instances internationales. La vie sur Terre, étant concentrée dans une étroite bande à la surface de la planète et dans l'atmosphère, ne sera aucunement affectée par un stockage souterrain des déchets nucléaires. Un tel stockage pourrait éventuellement être réversible, au moins pendant un certain temps. En aucun cas, il ne faudra déposer en stockage souterrain des combustibles usés non retraités, dont le contenu énergétique sera un jour recherché par nos descendants. Ils constituent de précieuses réserves stratégiques de combustible nucléaire pour l'avenir.

## 5. Conclusion

Nous n'avons pas le droit, alors que des solutions sûres existent, de transmettre aux générations futures des déchets non retraités et une filière non close. Il convient que le délai entre le service rendu par l'énergie nucléaire (fourniture d'électricité propre, abondante et bon marché), le retraitement et le stockage souterrain ne dépasse pas, au plus, une quarantaine d'années, afin que ce soit la même génération que celle qui a bénéficié de l'énergie qui paye la charge du retraitement et du stockage des déchets correspondants. Ceci d'autant plus que le financement de ces actions est aujourd'hui disponible.

Reporter les décisions, c'est prendre le risque que ces fonds soient employés à d'autres fins. C'est donc impérativement *aujourd'hui* que les différents pays qui exploitent l'énergie nucléaire doivent résoudre définitivement la question des déchets nucléaires.

Un aspect essentiel est l'information du public, qui doit être, loin des clichés habituels, aussi complète et objective que possible. C'est pourquoi notre Association des Ecologistes pour le Nucléaire, qui rassemble plus de 8000 membres et signataires dans plus de 50 pays, continuera à œuvrer pour une meilleure information du public sur la question des déchets nucléaires, afin que nous puissions parvenir, collectivement et avec la participation de chacun, à construire un monde offrant de meilleures chances à tous et notamment aux pays en développement dont les besoins en énergie ne peuvent qu'augmenter.

En résumé, il existe non pas *une* mais *des* solutions complémentaires entre elles, pour gérer les déchets nucléaires de forte et moyenne activité à vie longue. Il faut poursuivre les

recherches sur la transmutation, continuer à retraiter les déchets nucléaires et avancer dès maintenant sur le stockage en profondeur. Ne pas agir en ce sens serait irresponsable et nous serait – à juste titre – reproché dans l’avenir par nos enfants.

### **Références**

- [1] CNE (Commission Nationale d’Evaluation), 2005, *Rapport*.
- [2] Académie Nationale de Médecine, 2003, Avis: *Choix énergétiques et santé*.
- [3] On trouvera ainsi encore du DDT et des déchets chimiques hautement toxiques dans les glaces des pôles (existeront-elles encore?), comme partout ailleurs sur la planète, dans des centaines de millions d’années, bien après que les déchets nucléaires se soient complètement décomposés.
- [4] Cowan, G. A., 1976. Oklo, A Natural Fission Reactor, *Scientific American* **235**, 36–47
- [5] Comby, B. 2000, *Le nucléaire, avenir de l’écologie*, éditions TNR, [www.comby.org](http://www.comby.org), préface.
- [6] Pradel, Jacques, 1991, Le plutonium, c’est naturel!, *Radioprotection* **26**,1, 89–90.
- [7] EFR: European Fast Reactor, réacteur à neutrons rapides, successeur de Superphénix.