

# Examens internationaux par des pairs et gestion des déchets radioactifs en France

S. Gordelier, C. Nordborg, C. Pescatore \*

L'organisation d'examens internationaux indépendants d'études et de projets nationaux est une activité importante de l'AEN dans le domaine de la gestion des déchets radioactifs. Plusieurs de ces examens ont été réalisés au cours des dernières années, par exemple pour les gouvernements belge, suisse et américain. Les pays membres, les ayant jugés d'une grande utilité, demandent à présent qu'ils portent sur des thèmes plus larges. Les examens indépendants de l'OCDE/AEN aident les programmes nationaux à évaluer le travail accompli. Les commentaires généraux qui y figurent peuvent aussi intéresser d'autres pays membres. Néanmoins, afin de s'assurer que les travaux spécifiques demandés par un pays ne seront pas réalisés au détriment d'autres pays membres, ceux-ci sont financés séparément par le pays demandeur, et le Comité de direction de l'énergie nucléaire de l'AEN en est informé à l'avance.

Le gouvernement français a récemment demandé à l'AEN d'organiser deux examens par des pairs dans le domaine de la gestion des déchets radioactifs. Le premier portait sur le « Dossier 2005 Argile » préparé par l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (Andra). Le deuxième concernait le rapport « CEA 2005 » du Commissariat à l'énergie atomique (CEA). Ces études présentent les résultats de recherches menées dans les domaines du stockage et de la séparation et de la transmutation de déchets de haute activité et à vie longue, en application de la loi du 30 décembre 1991. Cette loi stipule que des travaux devaient être consacrés aux axes suivants :

- Axe 1 – « La recherche de solutions permettant la séparation et la transmutation des éléments radioactifs à vie longue présents dans ces déchets ».
- Axe 2 – « L'étude des possibilités de stockage réversible ou irréversible dans les formations

géologiques profondes, notamment grâce à la réalisation de laboratoires souterrains ».

- Axe 3 – « L'étude de procédés de conditionnement et d'entreposage de longue durée en surface de ces déchets ».

La loi stipule également qu'à l'issue d'une période qui ne pourra excéder 15 ans, c'est-à-dire d'ici la fin 2006, le gouvernement adressera au parlement un rapport global d'évaluation de ces recherches. Le moment est à présent venu, et les autorités françaises déploient une activité importante pour préparer des propositions concernant les prochaines étapes.

## Stockage en couches géologiques profondes et le « Dossier 2005 Argile »

La question de la gestion des déchets radioactifs se pose en France depuis 1960, date à laquelle les premiers réacteurs ont été construits et ont commencé à être exploités. Dès le départ, on a considéré que le stockage en formation géologique profonde était une solution envisageable pour la gestion à long terme des déchets. On a estimé que le meilleur moyen d'évaluer la faisabilité d'un stockage géologique serait de construire des installations souterraines afin de procéder à la caractérisation *in situ* des éventuelles formations géologiques hôtes.

\* M. Stan Gordelier ([stan.gordelier@oecd.org](mailto:stan.gordelier@oecd.org)) est Chef de la Division du développement de l'énergie nucléaire de l'AEN ; M. Claes Nordborg ([nordborg@nea.fr](mailto:nordborg@nea.fr)) est Chef de la Section des sciences nucléaires de l'AEN ; M. Claudio Pescatore ([pescatore@nea.fr](mailto:pescatore@nea.fr)) est Administrateur principal dans la Division de la protection radiologique et de la gestion des déchets radioactifs de l'AEN.

Tel que décrit ci-dessus, la loi de 1991 définit le cadre général de la recherche-développement et précise trois axes de recherche sur la gestion des déchets de haute activité et à vie longue. Dans ce cadre, un établissement public indépendant est créé sous le nom de l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (Andra), chargé de la gestion des déchets radioactifs et spécifiquement responsable du second axe de recherche, à savoir l'étude de la faisabilité du stockage des déchets radioactifs en formation géologique profonde, en utilisant pour ce faire des laboratoires souterrains. Selon la loi de 1991, des options de stockage réversible ou irréversible devaient être étudiées ; cependant, le gouvernement français a fait savoir, en 1998, que l'accent devait être mis sur une logique de réversibilité.

Comme contribution au rapport global d'évaluation des recherches réalisé, en 2006, par la Commission nationale d'évaluation pour les décisionnaires (le gouvernement et le parlement) et conformément aux prescriptions de la loi de 1991, l'Andra a réalisé un rapport, le « Dossier 2005 Argile », sur la faisabilité du stockage de déchets de haute activité et à vie longue dans la formation argileuse du Callovo-Oxfordien, en respectant le principe de réversibilité. Un rapport similaire a également été réalisé sur le stockage de déchets de haute activité et à vie longue dans du granite, le « Projet HAVL Granite ». Il est basé sur des données représentatives des formations granitiques françaises mais ne porte pas sur un site particulier.

### Objectif et conclusions de l'examen

Cet examen avait pour objet de faire savoir au gouvernement français si le Dossier 2005 Argile était i) conforme à la pratique internationale et à d'autres programmes nationaux de stockage, en particulier ceux envisageant de procéder au stockage dans des formations argileuses et ii) si les recherches à entreprendre concordent avec la base de connaissances existantes et si les priorités étaient bien définies.

En ce qui concerne cet objectif général, l'équipe internationale d'experts a estimé que le programme scientifique et technique de l'Andra était tout à fait conforme aux meilleures pratiques internationales et étaient même, dans plusieurs domaines, à la pointe des programmes de gestion des déchets. L'équipe a également estimé que :

- L'Andra a su utiliser de manière efficace les programmes de recherche relatifs à d'autres formations argileuses, notamment l'argile Opalinus, pour assurer la formation de ses équipes chargées des expérimentations et développer des techniques et équipements expérimentaux en vue de les utiliser dans le laboratoire souterrain de Meuse en Haute Marne.

- L'Andra a fait un travail approfondi d'identification des futurs besoins de recherche en accord avec le corpus de connaissances disponibles, bien que l'établissement de priorités pour ces besoins ne soit pas abordé dans le document programmatique correspondant. Des observations et recommandations sont formulées sur ce point dans l'examen réalisé par l'équipe internationale d'experts.
- L'Andra a fait un effort manifeste et concluant pour prendre en compte les résultats de l'examen international du rapport précédent, le Dossier 2001 Argile.

Plus précisément, l'examen avait pour but de s'assurer que le Dossier 2005 Argile reposait sur des bases solides et qu'il avait été établi avec compétence sur le plan de la démarche, de la méthodologie et de la stratégie. L'équipe internationale d'experts a constaté que ce dossier réussit à établir avec confiance la faisabilité de la construction d'un dépôt dans les argilites du Callovo-Oxfordien de la région où est situé le laboratoire souterrain de Meuse/Haute Marne. Cette affirmation est basée sur les conclusions selon lesquelles :

- Le dossier établit une approche viable d'obtention de la réversibilité sans compromettre la sûreté en période d'exploitation et après fermeture.
- La base scientifique et technique est développée dès l'amont avec une grande traçabilité.
- La méthode d'évaluation de la sûreté est solide et mise en œuvre avec pertinence.
- La confiance en la fonction essentielle de sûreté du Callovo-Oxfordien, c'est-à-dire, le contrôle du transport par la diffusion et la rétention des radionucléides, est importante.
- L'Andra apparaît comme ayant bien intégré les défis à relever en termes d'ingénierie minière et opérationnelle et comme possédant les compétences pour y répondre.

L'équipe internationale d'experts estime, par ailleurs, que le concept de stockage élaboré par l'Andra permet de démontrer le principe de réversibilité et conclut, en outre, que la réversibilité pendant la phase qui précède la fermeture n'est pas assurée au détriment de la sûreté à long terme. Néanmoins, la construction du dépôt conformément aux plans présente des défis en termes d'ingénierie.

Globalement, le Dossier 2005 Argile devrait constituer une base d'informations appropriée et importante pour les débats et décisions à venir en France sur la formulation d'une politique nationale actualisée de gestion définitive des déchets de haute activité et à vie longue.

En février 2006, l'examen a été présenté à François Loos, Ministre délégué à l'industrie du ministère de l'Économie, des finances et de

l'industrie. Ce rapport est consultable sur le site de l'AEN ([www.nea.fr](http://www.nea.fr)) sous le titre *Sûreté du stockage géologique de déchets radioactifs HAVL en France*.

## Séparation-transmutation et le rapport « CEA 2005 »

Dans de nombreux pays du monde on considère que le combustible nucléaire usé est un déchet (cycle du combustible ouvert). Dans d'autres, en particulier en France, le combustible usé est retraité, afin de séparer l'uranium et le plutonium pour pouvoir les recycler. Les déchets résiduels de haute activité sont alors coulés dans un verre spécial en vue de leur entreposage, puis de leur stockage à une date ultérieure. Un assemblage standard d'environ 500 kg de combustible UOX usé contient environ 470 kg d'uranium (94 %), 5 kg de plutonium (1 %) et 25 kg (5 %) d'autres radionucléides (actinides et produits de fission).

L'industrie réalise déjà la séparation de l'uranium et du plutonium. Les recherches de l'axe 1 étaient destinées à étudier la possibilité et l'intérêt de la séparation d'autres éléments, en particulier des actinides neptunium, américium et curium (appelés collectivement les actinides mineurs) et de certains produits de fission (iode, technétium et césium). On a examiné les moyens d'y parvenir ainsi que la possibilité de recycler ces matières afin, ensuite, de les irradier à nouveau et ainsi de les transmuter en des éléments plus inoffensifs ou à vie plus courte. Ces recherches avaient surtout pour but de réduire la radiotoxicité à vie longue de la forme ultime des déchets destinés à être stockés.

Un vaste programme de recherche a été réalisé par le CEA, avec dans certains domaines des contributions du Centre national de la recherche scientifique (CNRS). L'ensemble de ces recherches sont regroupées dans le rapport du CEA intitulé « Les déchets radioactifs à haute activité et à vie longue – Recherches et résultats, Axe 1 – Séparation et transmutation des radionucléides à vie longue » (CEA/DEN/DDIN/2004-62). Ce rapport, disponible sur le site Internet du CEA ([www.cea.fr/fr/sciences/dechets\\_radioactifs](http://www.cea.fr/fr/sciences/dechets_radioactifs)), est le document sur lequel l'examen a essentiellement porté.

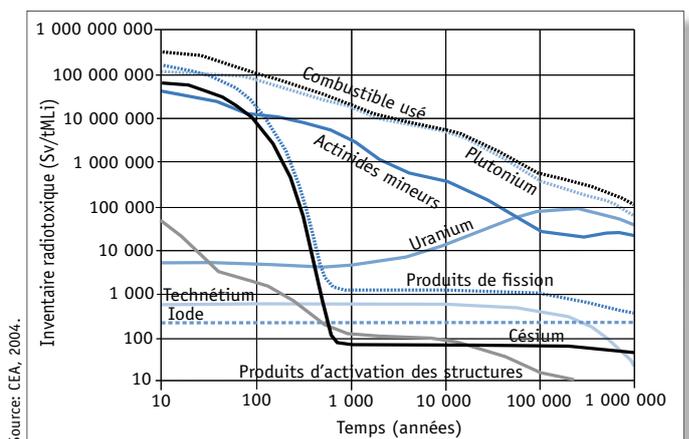
Les figures 1 et 2 proviennent de ce rapport du CEA. La figure 1 montre les contributions relatives des divers éléments à la radiotoxicité : parmi ces éléments le plutonium, déjà recyclé en France, prédomine de toute évidence. Les produits de fission examinés (à savoir l'iode, le césium et le technétium) ont été choisis en raison de leur mobilité relative dans des conditions de dépôt. On peut voir leur contribution à l'activité totale sur la figure 1. La figure 2 montre le résultat atteignable si les actinides mineurs étaient éliminés : la radiotoxicité des déchets

tomberait alors, en moins de 300 ans, à un niveau inférieur à celui de l'uranium dont ils sont issus.

## Conclusions de l'examen

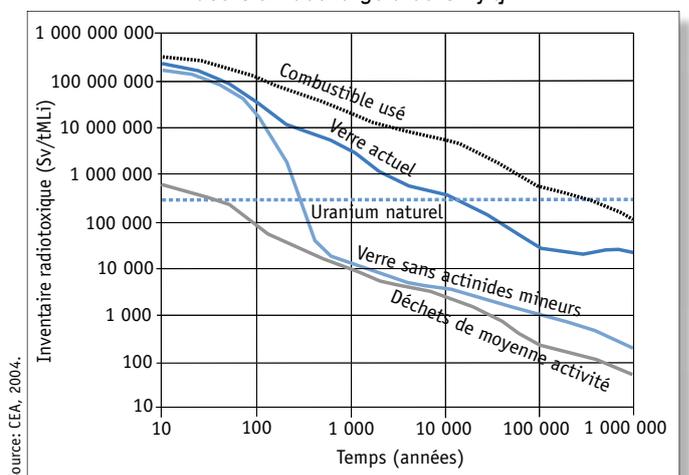
L'équipe internationale d'experts, composée de dix spécialistes internationaux, a été très élogieuse sur la qualité de la R-D française. Elle a confirmé son adhésion aux principales conclusions du rapport et a présenté plusieurs recommandations détaillées concernant des recherches complémentaires. L'équipe reconnaît que quelques-uns des problèmes qu'elle a soulevés sont peut-être abordés dans le cadre d'autres travaux qu'on ne lui avait pas demandé d'examiner. Il n'est pas envisageable de présenter ici les recommandations détaillées, mais les principales conclusions sont résumées ci-après.

**Figure 1. Évolution de l'inventaire radiotoxique**  
[exprimé en sieverts par tonne de métal lourd (uranium) initial (Sv/tMLi) d'un combustible usé UOX déchargé à 60 GWj/t]



**Figure 2. Évolution au cours du temps de l'inventaire radiotoxique**

[exprimé en sieverts par tonne de métal lourd (uranium) initial (Sv/tMLi) des déchets issus du retraitement d'un combustible usé UOX déchargé à 60 GWj/t]



## Portée et limites du rapport

- Le rapport présente, dans bien des domaines, un travail technique d'une excellente qualité. En vue des prochains débats sur la nouvelle loi relative aux déchets nucléaires, il serait également utile de produire une version plus facile à comprendre par des lecteurs non avertis.
- Il n'entrait pas dans le cadre du rapport de traiter de manière globale les effets de la séparation et de la transmutation sur l'ensemble du cycle du combustible. Ainsi, il n'étudie pas les incidences du recyclage des actinides mineurs sur la fabrication du combustible ou les conséquences de la séparation et de la transmutation sur le fonctionnement des stockages définitifs. Une analyse complémentaire sera nécessaire dans un avenir proche.

## Stratégie

- Les travaux techniques relatés dans ce rapport sont, pour beaucoup d'entre eux, d'un très haut niveau. Toutefois, la logique sous-jacente de la démarche aurait pu être davantage mise en évidence dans le texte.
- Le niveau de développement des divers domaines techniques est différent. La séparation chimique du combustible usé des réacteurs à eau sous pression (REP) a atteint un stade de développement très avancé, certains travaux étant d'excellente qualité. Les recherches sur les combustibles et cibles pour la transmutation (fabrication, tests de fonctionnement et traitement chimique ultérieur) n'ont pas dépassé le stade exploratoire. Néanmoins, la disparition d'une partie des infrastructures de R-D et, en particulier, l'absence d'installations d'irradiation à neutrons rapides, risque de compromettre les progrès dans ce domaine.

## Objectifs

- L'équipe internationale d'experts note que les objectifs des recherches sont tous formulés en termes de réduction de la radiotoxicité. La gestion des risques à long terme présentés par les déchets peut être envisagée selon deux points de vue, à savoir réduire l'inventaire radiotoxique ou réduire la dose de rayonnement que les populations sont susceptibles de recevoir à long terme du fait de la présence d'une installation de stockage ; des discussions sur ce point seraient donc utiles. La séparation et la transmutation des actinides répondent à ce premier objectif et la séparation et la transmutation des produits de fission concernent davantage le second. La séparation et la transmutation pourraient aussi se répercuter sur l'efficacité de l'utilisation des dépôts, en abaissant la charge thermique et en diminuant le volume des déchets à stocker.

- Les objectifs des futurs travaux de recherche sur la séparation et la transmutation devraient être définis plus en fonction de ce qui est nécessaire pour parvenir aux résultats visés, comme la réduction de la charge thermique dans le dépôt ou la réduction de la dose au public imputable au stockage définitif, plutôt que dans l'optique de ce qui est réalisable.

## Résultats et points de convergence avec l'équipe internationale d'experts

- Le CEA a très bien réussi à démontrer, par ses travaux, la faisabilité technique de la gestion des actinides mineurs dans des réacteurs à eau légère, comme il l'avait fait dans le passé pour la gestion du plutonium.
- Les aspects scientifiques et techniques de la séparation par voie aqueuse reposent sur des bases solides. La possibilité de déployer ces procédés dans des cycles du combustible avancés est ainsi démontrée de manière convaincante.

En janvier 2006, le rapport final a été présenté aux fonctionnaires du ministère de l'Industrie et de la recherche français. Ce rapport est disponible sur le site Internet de l'AEN sous le titre de : *La R-D en France sur la séparation et la transmutation des radio-nucléides à vie longue.* ■

## Références

1. AEN (2004), *Post-closure Safety Case for Geological Repositories – Nature and Purpose*, OCDE/AEN, Paris.
2. AEN (2005), *Actinide and Fission Product Partitioning and Transmutation – Eighth Information Exchange Meeting, Las Vegas, Nevada, USA, 9-11 November 2004*, OCDE/AEN, Paris.
3. AEN (2005), *Fuels and Materials for Transmutation – A Status Report*, OCDE/AEN, Paris.
4. AEN (2005), *International Peer Reviews for Radioactive Waste Management – General Information and Guidelines*, OCDE/AEN, Paris.
5. AEN (2005), *Programmes de gestion des déchets radioactifs dans les pays membres de l'OCDE/AEN*, OCDE, Paris.
6. AEN (2006), *Physics and Safety of Transmutation Systems – A Status Report*, OECD/AEN, Paris.