

AEN Infos

Volume 24, N° 1

Juin 2006

Table des matières

Faits et opinions

- Ressources, production et demande
de l'uranium : bilan de 40 ans 4
- Examens internationaux par des pairs
et gestion des déchets radioactifs
en France 7

Actualités

- Forum sur la confiance des parties
prenantes : Espagne 11
- Les projets communs de l'OCDE/AEN
en sûreté nucléaire 14
- Réglementation de la gestion des
déchets radioactifs 18
- Défis et avantages possibles de la
séparation-transmutation 21
- Le Système international d'information sur
la radioexposition professionnelle (ISOE) 25

Nouvelles brèves

- Blindage des accélérateurs, des cibles
et des installations d'irradiation (SATIF) 29

- Nouvelles publications 30
-

AEN Infos est publié deux fois par an, en anglais et en français, par l'Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire. Les opinions exprimées n'engagent que les auteurs des articles et ne reflètent pas nécessairement les points de vue de l'Organisation ou ceux des pays membres. Les informations contenues dans *AEN Infos* peuvent être librement utilisées, à condition d'en citer la source. La correspondance doit être adressée comme suit :

Secrétariat de rédaction
AEN Infos, OCDE/AEN
12, boulevard des Îles
92130 Issy-les-Moulineaux
France
Tél. : +33 (0)1 45 24 10 10
Fax : +33 (0)1 45 24 11 10

L'Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire (AEN) est une organisation intergouvernementale qui a été fondée en 1958. Son principal objectif est d'aider ses pays membres à maintenir et à approfondir, par l'intermédiaire de la coopération internationale, les bases scientifiques, technologiques et juridiques indispensables à une utilisation sûre, respectueuse de l'environnement et économique de l'énergie nucléaire à des fins pacifiques. Elle est une source d'informations, de données et d'analyses non partisane et constitue l'un des meilleurs réseaux d'experts techniques internationaux. Elle comprend actuellement 28 pays membres : l'Allemagne, l'Australie, l'Autriche, la Belgique, le Canada, la Corée, le Danemark, l'Espagne, les États-Unis, la Finlande, la France, la Grèce, la Hongrie, l'Irlande, l'Islande, l'Italie, le Japon, le Luxembourg, le Mexique, la Norvège, les Pays-Bas, le Portugal, la République slovaque, la République tchèque, le Royaume-Uni, la Suède, la Suisse et la Turquie.

Pour plus d'informations sur l'AEN, voir :
www.nea.fr

Comité de rédaction :
Gail H. Marcus
Karen Daifuku
Cynthia Gannon-Picot

Production/recherche photographique :
Solange Quarmeau
Annette Meunier

Mise en page/graphiques :
Annette Meunier
Andrée Pham Van

Page de couverture : uranium raffiné (NEI, États-Unis), cœur du réacteur de recherche Cabri (P. Stroppa, CEA, France), centrale nucléaire de Kori (KAERI, Corée), activités de démantèlement en Belgique (SCK•CEN, Belgique).





Le changement est dans l'air



Avec ce premier numéro de 2006 d'*AEN Infos*, nous inaugurons une toute nouvelle présentation en même temps que nous élargissons la diffusion du bulletin. Jusqu'à présent, seuls les délégués des comités de l'AEN le recevaient gratuitement. Désormais, dans le cadre de l'évolution récente vers une intensification des échanges d'informations avec la société civile, *AEN Infos* sera adressé à tous ceux qui en feront la demande. En outre, il est à présent consultable dans son intégralité sur le site de l'AEN à l'adresse www.nea.fr.

Mais, évidemment, les nouveautés ne se bornent pas à des questions de diffusion, comme pourront le constater les lecteurs dans les pages qui suivent. Trois importants examens internationaux par des pairs ont récemment été achevés sous l'égide de l'AEN : l'un sur la *Sûreté du stockage géologique de déchets radioactifs HAVL en France* ; l'autre sur *La R-D en France sur la séparation et la transmutation des radionucléides à vie longue* ; et enfin le troisième, premier de son genre dans le domaine de la sûreté et de la réglementation nucléaires, porte sur le rapport publié par le Conseil de sûreté nucléaire espagnol sur les enseignements tirés de l'incident de Vandellós II qui a eu lieu en août 2004. Les deux premiers examens et leurs principales conclusions sont décrits dans l'article, page 7. À la page 21, on trouvera une analyse plus approfondie des défis et avantages possibles de la séparation-transmutation, qui se fonde sur l'étude récemment publiée par l'AEN, *Physics and Safety of Transmutation Systems*.

Enfin, une vaste compilation de données rétrospectives et nouvelles doit paraître sous peu sous le titre *Ressources, production et demande de l'uranium : bilan de quarante ans*. Cet ouvrage présente un panorama de l'industrie de l'uranium le plus complet qui n'ait jamais été publié depuis la naissance de l'énergie nucléaire civile jusqu'à ce jour. Les lecteurs trouveront de plus amples détails sur cette publication unique à la page 4.



Plus généralement, l'évolution du nucléaire se poursuit, marquée par une plus forte accélération encore au cours des douze derniers mois, qui se retrouve dans le programme de travail, les projets et les activités de l'AEN. Parmi les éléments les plus marquants citons les activités associées au Forum international Génération IV (GIF), les nouvelles initiatives envisagées, comme le *Multinational Design Approval Program* (MDAP) et le *Global Nuclear Energy Partnership* (GNEP), et la perspective d'un accroissement important de la puissance installée mondiale dans les années et les décennies à venir. Nous veillerons à informer nos lecteurs de tous les faits nouveaux importants à mesure qu'ils se dessinent.

Concernant l'OCDE, après dix ans à la tête de l'Organisation le Secrétaire général, M. Donald Johnston, passe la main à M. Ángel Gurría. L'AEN aimerait saisir cette occasion pour exprimer toute sa gratitude à M. Johnston pour le soutien considérable qu'il a apporté aux travaux de l'Agence pendant l'ensemble de son mandat et lui adresse tous ses vœux de réussite pour les années à venir. L'AEN est également très heureuse d'accueillir M. Gurría à la tête du Secrétariat général de l'OCDE et se réjouit de la perspective de travailler sous sa direction en cette période caractérisée par un renouveau de l'intérêt pour l'énergie nucléaire.

Luis E. Echávarri
Directeur général de l'AEN

Ressources, production et demande de l'uranium : bilan de 40 ans

R. Price, F. Barthel, J.-R. Blaise, J. McMurray *

L'AEN collecte et analyse des données sur l'uranium depuis quarante ans. Les informations et l'expérience acquises permettent de répondre à un certain nombre de questions d'actualité, au moment où de nombreux pays commencent à manifester un regain d'intérêt pour l'énergie nucléaire. Concernant les ressources en uranium, les enseignements du passé nous laissent penser avec confiance que l'offre d'uranium continuera de répondre de façon adéquate à la demande.

Lors de la parution, en 1965, de la première édition du « Livre rouge »¹ sur les *Ressources, production et demande d'uranium*, il y avait 40 réacteurs en service dans le monde représentant au total une puissance installée d'environ 4,5 GWe. En 2005, on dénombrait 440 réacteurs représentant ensemble une puissance installée d'environ 369 GWe. Pendant cette période, la publication de 20 Livres rouges a permis de suivre l'évolution de l'énergie nucléaire et de prendre connaissance de données très complètes fournies par les gouvernements sur les ressources, la prospection et la production d'uranium.

* M. Robert Rush Price (robert-rush.price@oecd.org) travaille dans la Division du développement de l'énergie nucléaire de l'AEN. M. Fritz Barthel (fritz.barthel@t-online.de), ancien Président du Groupe sur l'uranium, M. Jean-René Blaise (jrf.blaise@wanadoo.fr) et M. Jay McMurray (j.mcmurray@iaea.org), auparavant de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA), ont contribué à la rédaction de la *Rétrospective du Livre rouge en tant que consultants de l'AEN*.

L'histoire du Livre rouge est indissociable du développement de l'énergie nucléaire, l'une et l'autre influencés par les événements mondiaux tels que la crise pétrolière de 1973, qui a sensibilisé le public au potentiel de l'énergie nucléaire, les accidents des réacteurs de Three Mile Island et de Tchernobyl, qui ont ralenti l'essor du nucléaire, et la fin de la guerre froide en 1989, qui a permis d'obtenir de nouvelles informations et de rendre disponibles de nouvelles sources d'uranium avec la mise à la disposition du secteur commercial de certains stocks militaires.

Rétrospective du Livre rouge

La *Rétrospective du Livre rouge*² a été entreprise pour collecter, analyser et publier l'ensemble des informations recueillies au cours des 40 années d'existence du Livre rouge. Outre la récapitulation des informations comprises dans les Livres rouges publiés entre 1965 et 2003, des efforts ont été déployés pour combler au mieux les lacunes avec des informations inédites et faire en sorte que la *Rétrospective du Livre rouge* offre le tableau le plus exhaustif possible du secteur commercial de l'uranium jamais publié, depuis l'avènement du nucléaire civil jusqu'à l'aube du 21^e siècle. En plus d'un jeu complet de tableaux de données, on trouvera dans ce rapport des informations détaillées sur l'histoire de l'industrie de l'uranium à l'échelle mondiale.

La *Rétrospective du Livre rouge* apporte des informations sur les besoins en uranium liés aux réacteurs, la puissance nucléaire installée, les stocks d'uranium naturel et enrichi, les ressources non classiques en uranium, les ressources en thorium, l'historique des mises en service et des fermetures des mines d'uranium, et les aspects environnementaux de l'extraction et du traitement de l'uranium. Les analyses et les récapitulatifs de la prospection,

des ressources et de la production des grands pays producteurs d'uranium sont accompagnés d'analyses de données qui jettent une lumière inédite sur de nombreux paramètres, dont les coûts des découvertes, la précision des prévisions relatives à la puissance installée et aux besoins, les ratios entre inventaires et besoins, les ratios entre puissance installée et besoins et l'évolution du délai séparant la production de la découverte selon les différentes méthodes d'extraction.

Ce regard rétrospectif sur les informations publiées dans le Livre rouge, désormais complétées par de nouvelles données précédemment non disponibles, permet une nouvelle vision du secteur de l'uranium.

Prospection

Au total, 81 pays ont fait état de dépenses de prospection relatives à l'uranium et le montant cumulé de ces dépenses à l'échelle mondiale s'est élevé à USD 13 400 millions entre 1945 et 2003. On trouvera dans le tableau ci-dessous, les dépenses effectuées par les pays les plus actifs dans la prospection de l'uranium sur la scène mondiale.

Pays ayant le plus investi dans la prospection (1945-2003)¹

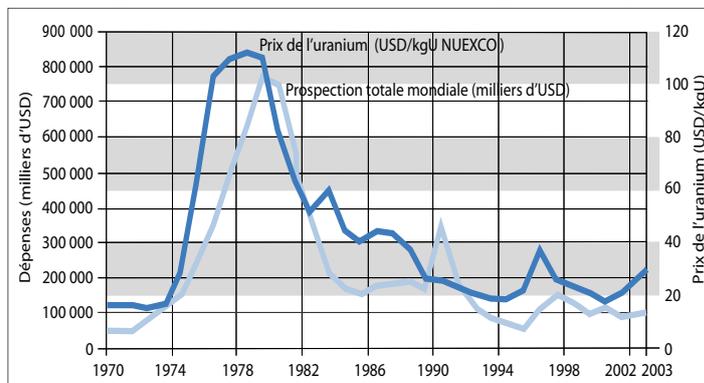
Pays	Millions d'USD	% du total mondial
URSS ¹	3 692	27.6
États-Unis	2 507	18.7
Allemagne ²	2 003	14.9
Canada	1 289	9.6
France	907	6.8
Autres (total)	3 002	22.4
Total mondial	13 400	100.0

- Dépenses réalisées par le Kazakhstan, la Fédération de Russie, l'Ukraine et l'Ouzbékistan depuis 1991 non incluses.
- République démocratique allemande incluse.

À l'échelle mondiale, les dépenses de prospection ont étroitement épousé les prix du marché de l'uranium. Le pic des dépenses de prospection est intervenu avec seulement un an de décalage sur le pic des prix du marché de 1978. Le prix de l'uranium a atteint son maximum historique à la fin des années 70, dopé par la conjonction de besoins militaires et de l'essor du nucléaire civil. Après ce pic, les prix ont chuté rapidement avant d'entamer une baisse régulière au cours des 20 années suivantes, attribuable en grande partie à une croissance plus lente qu'escomptée du parc nucléaire, influencée par l'accident de Three Mile Island, et à l'abondance de l'offre qui a contribué à la constitution d'importants stocks. Le prix de l'uranium a touché un plancher historique à la fin

de l'année 2000 avant de connaître un rebond qui se poursuit jusqu'en 2006, reflétant un ajustement du marché à d'éventuels déficits de l'offre à court ou à moyen terme (voir figure 1).

Figure 1. Dépenses de prospection à l'échelle mondiale et prix de l'uranium sur le marché (1970-2003)



Ressources

L'édition du Livre rouge de 1965 indiquait un total de 3,21 millions de tonnes d'uranium (tU) réparties dans 16 pays ; en 2003, 56 pays faisaient état de ressources totales, toutes catégories de coûts et de classifications confondues, de 14,38 millions tU. Les pays possédant les plus grandes ressources uranifères sont répertoriés dans le tableau ci-dessous.

Pays ayant les plus importantes ressources connues récupérables à moins de 130 USD/kgU (2003)¹

Pays	tU	% du total mondial
Australie	1 058 000	23.1
Kazakhstan	847 620	18.5
Canada	438 544	9.6
Afrique du Sud	395 670	8.6
États-Unis	345 000	7.5
Autres (total)	1 503 166	32.7
Total mondial	4 588 000	100.0

- Inclut les ressources raisonnablement assurées (RRA) et les ressources supplémentaires estimées I (RSE-I) à un coût inférieur à 130 USD/kgU.
- Les États-Unis n'ont pas recours à la catégorie RSE-I dans la comptabilisation de leurs ressources.

Le prix du marché influe indirectement sur les ressources car il affecte les dépenses de prospection dans des économies fondées sur le marché. Cependant, en raison du délai entre la prospection et la notification des ressources qui en découlent directement, la relation apparaît rarement au premier coup d'œil.

Production

On estime qu'en 1945 la production d'uranium avait atteint 507 tU. En 1965, année de la parution du premier Livre rouge, 31 630 tU ont été produites. La production a culminé en 1980 avec 69 683 tU par 22 pays. En 2003, 19 pays ont déclaré avoir produit au total 35 600 tU. D'après les indications ou les estimations réunies sur 35 pays depuis 1945, la production mondiale cumulée d'uranium a atteint 2,2 millions tU entre 1945 et 2003. On trouvera dans le tableau ci-dessous la liste des principaux pays classés en fonction de leur production cumulée d'uranium de 1945 à 2003.

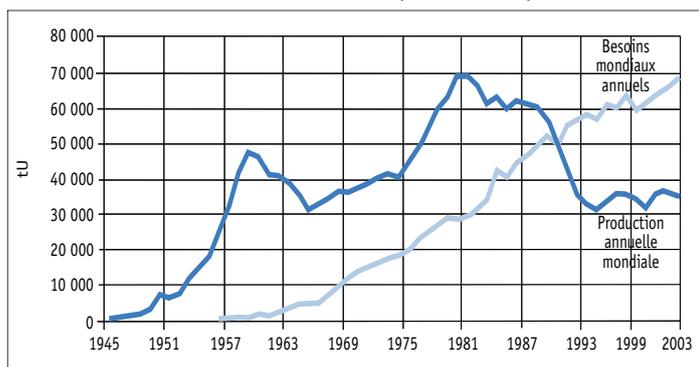
Principaux pays producteurs d'uranium en fonction de leur production cumulée (1945-2003)

Pays	tU	% du total mondial
URSS ¹	377 613	17.1
Canada	374 548	17.0
États-Unis	366 846	16.6
Allemagne ²	219 239	9.9
Afrique du Sud	157 618	7.1
Autres (total)	708 848	32.3
Total mondial	2 204 712	100.0

1. Inclut uniquement la production jusqu'en 1991.
2. Inclut la production de la République démocratique allemande (1946-1989) et celle de la République fédérale d'Allemagne (1961-2003).

L'offre primaire a dépassé les besoins en uranium liés aux réacteurs jusqu'en 1991, date à laquelle la relation s'est inversée (voir figure 2). Depuis 1991, l'écart entre l'offre primaire et les besoins en uranium a été comblé par l'offre secondaire, telle que l'excédent d'uranium par rapport aux besoins militaires, l'uranium de retraitement et le combustible à mélange d'oxydes. En 2003, les besoins ont été satisfaits pratiquement à parts égales par l'offre primaire et l'offre secondaire.

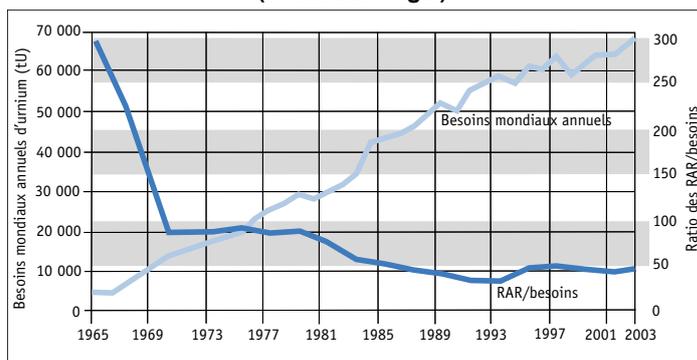
Figure 2. Production annuelle d'uranium et besoins liés aux réacteurs (1945-2003)



Deux messages fondamentaux

Les informations et les données présentées dans le texte et les tableaux sont riches d'enseignements, mais deux messages essentiels méritent d'en être dégagés au moment où le monde envisage de développer l'usage de l'énergie nucléaire à une échelle sans précédent depuis les années 70. Premièrement, les activités passées de prospection de l'uranium ont débouché sur la découverte de gisements et finalement la notification de ressources uranifères. Un cycle de dépenses de prospection faibles, qui a duré plus de 20 ans, s'est achevé à la fin de l'année 2000. Depuis 2001, les dépenses de prospection augmentent régulièrement et suivent le mouvement de hausse des prix du marché amorcé à partir de leur minimum historique. On peut s'attendre à ce que cette nouvelle période de prospection se traduise par la découverte de nouvelles sources d'uranium et accroisse le périmètre des ressources. Deuxièmement, malgré les faibles niveaux d'activité de prospection et une production cumulée supérieure à 2,2 millions tU depuis 1945, les ressources comptabilisées d'uranium augmentent régulièrement depuis le milieu des années 80. L'analyse des besoins annuels liés aux réacteurs par rapport aux ressources répertoriées montre un ratio prospectif de réserve régulièrement supérieur à 45 au cours des vingt années passées, en dépit d'une montée régulière des besoins (voir figure 3).

Figure 3. Ratio des besoins annuels liés aux réacteurs et des ressources raisonnablement assurées (< 130 USD/kgU)



Globalement, les enseignements du passé laissent penser avec confiance que les ressources en uranium demeureront suffisantes pour répondre à la demande. ■

Notes

1. Appelé ainsi en raison de la couleur de sa couverture.
2. *Ressources, production et demande de l'uranium : un bilan de quarante ans – « Rétrospective du Livre rouge »* pourra être acheté en ligne sur le site www.oecdbookshop.org. Pour de plus amples informations, prière d'écrire à neapub@nea.fr.

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) est Chef de la Division du développement de l'énergie nucléaire de l'AEN ; M. Claes Nordborg (nordborg@nea.fr) est Chef de la Section des sciences nucléaires de l'AEN ; M. Claudio Pescatore (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) 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), 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]

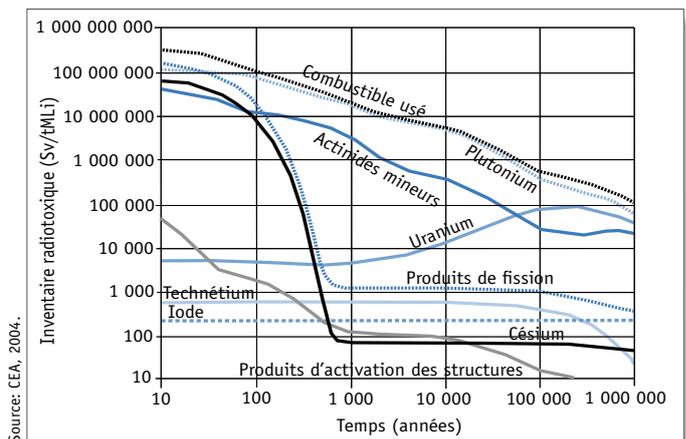
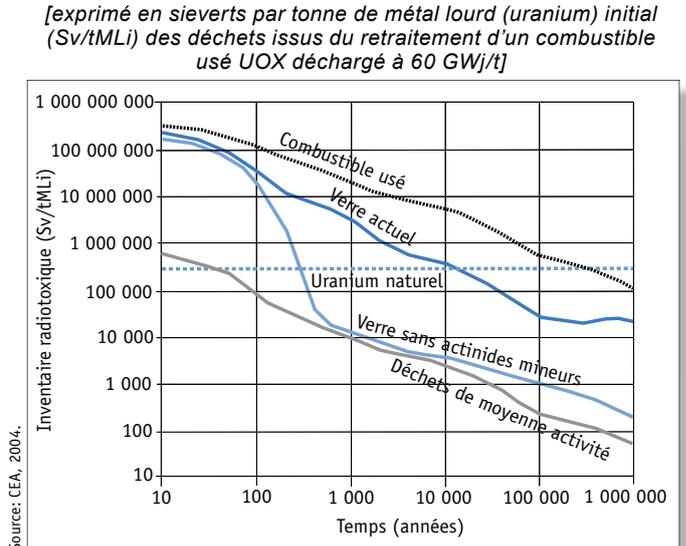


Figure 2. Évolution au cours du temps de l'inventaire radiotoxique
[exprimé en sieverts par tonne de métal lourd (uranium) initial (Sv/tMLi) des déchets issus du retraitement d'un combustible usé UOX déchargé à 60 GWj/t]



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.

Forum sur la confiance des parties prenantes : Espagne

A. Vari, C. Pescatore *

Le sixième atelier du Forum de l'OCDE/AEN sur la confiance des parties prenantes (FSC) a été accueilli du 21 au 23 novembre 2005 à L'Hospitalet de l'Infant, en Espagne, par l'Organisme national de gestion des déchets radioactifs (Enresa) et le Conseil de sûreté nucléaire espagnole (CSN), avec l'aide de l'AMAC, l'Association des municipalités hébergeant des installations nucléaires. L'atelier comportait quatre sessions d'une demi-journée ainsi qu'une visite de la municipalité et de la centrale nucléaire démantelée de Vandellós-I.

L'atelier a démarré par la présentation de deux études de cas : i) les efforts antérieurs de l'Espagne en vue de trouver un site adapté à l'implantation d'une installation de stockage de déchets de haute activité, et ii) le démantèlement de la centrale nucléaire de Vandellós-I. Après cette introduction, deux journées ont été consacrées à des interventions et à une table ronde sur la récente initiative « COWAM Espagne » (résultant du projet réalisé à l'échelle européenne dans le domaine de la gestion communautaire des déchets), dont l'objectif est d'élaborer des recommandations concernant les structures institutionnelles et les processus de décision relatifs au choix des sites d'implantation des installations de déchets en Espagne. Cet atelier a rassemblé 54 participants de 14 pays. Les acteurs

espagnols concernés formaient la moitié de ces participants, l'autre moitié étant constituée d'organismes membres du FSC ou d'autres institutions des pays de l'OCDE. Cet article présente un bref résumé des études de cas et de l'initiative « COWAM Espagne », ainsi que quelques-uns des enseignements qui en ont été tirés dans une perspective internationale.



Cet atelier a rassemblé 54 participants de 14 pays.

* Mme Anna Vári (anna.vari@socio.mta.hu) est Chercheur principal à l'Institut de sociologie de l'Académie hongroise des sciences et professeur à la Faculté de gestion environnementale de l'Université des sciences techniques et économiques ; M. Claudio Pescatore (pescatore@nea.fr) est Administrateur principal pour la gestion des déchets radioactifs à l'AEN et Secrétaire technique du FSC.

Études de cas

Précédent processus de sélection de sites pour l'implantation d'une installation de stockage de déchets de haute activité

Le processus de sélection de sites, prévu par Enresa dans les années 80, consistait à rechercher le site qui était techniquement le mieux adapté en confiant ce choix à des experts techniques sans faire participer le public. Quarante sites potentiels ont ainsi été retenus vers le milieu des années 90, mais, lorsque les habitants des régions concernées l'ont appris par des fuites, ils se sont violemment opposés au choix de leur région. En 1998, on a mis un terme à ce processus, et le gouvernement a différé jusqu'en 2010 toute décision sur le stockage souterrain. À la fin de 2004, la création d'une installation d'entreposage centralisée et provisoire a été décidée par le parlement, tandis que les travaux sur le stockage se poursuivaient.

Démantèlement de la centrale nucléaire de Vandellós-I

En 1989, à la suite d'un incendie qui s'est produit dans la salle des turbines de la centrale de Vandellós-I, la décision a été prise de fermer le réacteur. Les activités de démantèlement et de déconstruction ont alors été entreprises par Enresa, sous le contrôle réglementaire du CSN. En 2003, à la fin de ces travaux, a commencé la période d'attente prévue de 25 ans. Durant la phase du démantèlement, le maître d'œuvre a fait porter toute son attention sur les questions de sûreté, de transparence, d'information et de développement économique. Une Commission municipale de surveillance, constituée de représentants des municipalités concernées, des pouvoirs publics régionaux, des associations professionnelles locales, de l'université locale, des membres de la direction de la centrale et d'Enresa a été créée afin de surveiller le processus de démantèlement et d'informer les populations locales. Les municipalités concernées ont, par ailleurs, négocié avec Enresa des avantages socio-économiques, dont le recrutement local du personnel participant aux activités de démantèlement ainsi que d'autres compensations financières et non financières.



Vandellós-I avant son démantèlement.

L'initiative « COWAM Espagne »

L'initiative « COWAM Espagne » fait suite au 6^{ème} Projet cadre de l'Union européenne COWAM-2. Lancée par l'AMAC, cette initiative a pour objet de planifier le processus de sélection de sites adaptés à l'implantation d'une installation centralisée de gestion des déchets. Des experts universitaires ainsi que des représentants des pouvoirs publics régionaux, des collectivités hébergeant des installations nucléaires, de l'industrie nucléaire, de l'exploitant, de l'autorité de sûreté et des syndicats, entre autres, participent à ce projet. Ce projet est structuré en quatre groupes de travail : l'un traitant de l'intégration et de la gestion en général, et les autres de problèmes de démocratie et de dispositifs de participation locale, de cadre institutionnel et de processus de décision à plusieurs niveaux ainsi que de la gouvernance à long terme.

Parmi les conclusions importantes de « COWAM Espagne », mentionnons le fait que les principales parties prenantes ont décidé d'un commun accord que la résolution du problème de gestion des déchets de haute activité et, plus précisément, le choix d'un site destiné à recevoir une installation de stockage incombaient au gouvernement national. Les conditions requises des décisions prises au niveau national sont l'accord politique, la sûreté, la participation du public, l'information et la transparence. Pour parvenir à l'indispensable consensus social et politique, les municipalités concernées et les pouvoirs publics régionaux devront participer au processus de décision. D'un point de vue éthique, la priorité est donnée au principe de responsabilité, ce qui signifie que le problème doit être traité par la génération actuelle et que chaque pays doit gérer ses propres déchets. Les liens entre la politique électronucléaire et la politique de gestion des déchets radioactifs doivent être explicités, et il faut encourager la participation du public à l'élaboration des politiques dans ces deux domaines. Au niveau local, les municipalités doivent choisir librement de participer au processus et être autorisées à s'en retirer. On devrait favoriser, en plus de la sûreté, le développement socio-économique durable de la région concernée.

Afin d'assurer la transparence, l'efficacité et la légitimité du processus de sélection du site, il a été proposé de créer une Commission nationale composée d'acteurs locaux et régionaux concernés, de politiciens et d'experts. Cette Commission serait chargée i) de définir les critères techniques, environnementaux, sociaux et économiques pour le choix de zones d'implantation potentielle, ii) d'élaborer la procédure d'invitation aux municipalités intéressées de participer à la sélection du site et iii) d'identifier un minimum de deux et un maximum de cinq sites adaptés. Le gouvernement national, avec l'accord des municipalités et des pouvoirs publics

régionaux concernés, serait responsable du choix final. Il est par ailleurs recommandé que la Commission nationale continue à être chargée de la surveillance pendant les phases de construction et d'exploitation.

Enseignements tirés

L'évolution des concepts d'équité et la recherche de la robustesse

En Espagne, l'échec du processus de sélection du site de l'installation de stockage de déchets de haute activité est l'exemple typique d'une démarche technique et hiérarchique, caractérisée par la préemption du pouvoir local par le gouvernement, une participation limitée du public et une importance prépondérante donnée aux critères techniques. Pour les activités de démantèlement de Vandellós-I, le maître d'œuvre a choisi de négocier avec les collectivités locales sur le développement économique et la surveillance, démontrant ainsi que des leçons importantes avaient su être tirées de l'expérience antérieure. Les recommandations actuelles de l'initiative COWAM Espagne vont encore plus loin et prévoient, en outre, de faire participer non seulement les responsables locaux mais également tous les niveaux intermédiaires des pouvoirs publics jusqu'aux autorités nationales et de définir des protocoles plus clairs concernant le rôle de la sûreté, l'information et la transparence, la participation du public, le développement socioéconomique durable et le principe de responsabilité. Au lieu de chercher à trouver un site optimum du point de vue technique, COWAM Espagne recommande de trouver un site répondant aux critères lui permettant d'obtenir une autorisation et considéré sûr et acceptable par les acteurs locaux et régionaux. L'atelier du FSC, organisé en Espagne, a confirmé la tendance observée dans d'autres pays de l'OCDE dans le domaine des décisions prises sur la gestion des déchets radioactifs où la démarche technico-hiérarchique laisse progressivement la place à une démarche socio-technique.

Rôles et responsabilités

Différents pays ont différents modèles de responsabilité en matière de gestion des déchets radioactifs de haute activité. Ainsi, au Canada, en Suède et en Finlande la responsabilité incombe à celui qui produit les déchets, alors qu'en Belgique, en France et aux États-Unis la responsabilité incombe au gouvernement national. Il est intéressant de noter qu'en Allemagne, il a récemment été proposé de transférer la responsabilité de la sélection du site et de l'exploitation de l'installation de déchets radioactifs du gouvernement fédéral à l'industrie nucléaire alors qu'aux Pays-Bas cette responsabilité a récemment été trans-

férée de l'industrie au gouvernement. D'après les exposés et les débats de l'atelier, les principales parties prenantes en Espagne semblent être d'accord sur le rôle que doivent jouer les divers acteurs, et estiment que la responsabilité de la gestion des déchets incombe au gouvernement national. Un consensus semble, par ailleurs, se dégager sur la nécessité pour le gouvernement de créer un organisme chargé de coordonner les décisions prises au niveau de l'État, de la région et au niveau local durant la sélection, la planification, la construction et l'exploitation du site.

Les parties prenantes sont, en outre, nombreuses à considérer qu'il serait bon de renforcer le rôle de l'autorité de sûreté. Ce renforcement du rôle de l'autorité de sûreté en tant que « l'expert des citoyens » peut être observé dans un certain nombre de pays (par exemple, en Suède, en Finlande et au Canada). On semble aussi s'accorder à penser que les comités locaux d'information – dont la création est prescrite par la loi espagnole – doivent évoluer et devenir des mécanismes plus institutionnalisés et légitimés d'association des acteurs à long terme. Les comités locaux d'information existent dans un certain nombre de pays. Leur fonction varie énormément : ainsi, ils servent dans certains pays à transmettre les informations entre le gestionnaire de déchets et le citoyen local (en Hongrie), à conseiller les décideurs (en France), et à planifier les installations et les concepts de développement économique (en Belgique).

Du cadre institutionnel espagnol se dégage un élément important, à savoir l'AMAC, qui a jusqu'à présent pris une part très active – et entend continuer de le faire – à l'élaboration du processus de décision, à la mise en place des comités locaux d'information et à la défense des intérêts collectifs. L'intervention en amont de l'AMAC confirme une observation précédente du FSC selon laquelle les collectivités locales, qui se retrouvent de facto devoir accueillir des déchets radioactifs, auront tendance à jouer un rôle actif dans le processus de décision sur la gestion des déchets radioactifs, y compris par la proposition de solutions.

Conclusions

Cet atelier a permis de procéder à un examen approfondi des processus de décision mis sur pied dans un pays membre de l'AEN et de réfléchir sur l'évolution intervenue au cours des années. Il a permis d'obtenir une vision complète de l'association des parties prenantes aux décisions, et les réunions ont eu lieu dans une atmosphère qui a favorisé un échange de vues honnête et ouvert. La présence des membres de l'AMAC et du maire de L'Hospitalet a contribué à rattacher cet atelier à la vie locale et l'expérience concrète. ■

Les projets communs de l'OCDE/AEN en sûreté nucléaire

C. Vitanza *

Nombreux sont les pays membres de l'OCDE où les centrales nucléaires assurent une proportion significative de la production d'électricité. Tout comme par le passé, l'évolution des spécifications d'exploitation, de l'efficacité d'utilisation des installations et de la conception du combustible n'a pas de raison de s'arrêter, même dans les réacteurs de la génération actuelle, qui poseront à leur tour de nouveaux défis et questions. Le retour d'expérience et le vieillissement des installations soulèveront d'autres problèmes ou demandes. La recherche sera donc nécessaire pour conserver un très haut niveau de sûreté à un moment où les pressions économiques sur les exploitants de centrales se font plus fortes. Cette recherche sera aussi indispensable à la mise au point des nouveaux systèmes de réacteurs, qu'il s'agisse de conceptions évolutives ou de concepts plus avancés tels que ceux étudiés par le Forum international Génération IV (GIF).

Ces dernières années, des installations expérimentales ont été fermées ; d'autres risquent de subir le même sort. Certains redoutent par conséquent que, faute de prendre les mesures pratiques indispensables, des pays membres ne soient plus à même de conserver les compétences essentielles pour étudier certains aspects importants de la sûreté. Dans ce cas, la collaboration internationale est susceptible d'apporter une solution et elle présente en outre un intérêt économique.

Il revient au Comité de l'AEN sur la sûreté des installations nucléaires (CSIN) de réaliser des recherches pour résoudre certains problèmes de sûreté en suspens, de conserver une infrastructure

et des compétences techniques solides et de favoriser les recherches sur la sûreté dans le cadre de coopérations entre pays membres de l'OCDE. Le lancement et la gestion de projets communs de l'OCDE/AEN sont l'un des moyens utilisés pour s'acquitter de ces tâches.

On trouvera dans cet article une description des projets communs réalisés sous l'égide de l'AEN afin de préserver l'infrastructure et les compétences techniques dans des secteurs essentiels de la recherche en sûreté. Ce sont notamment les projets communs qui ont été lancés pour résoudre des problèmes de sûreté particuliers par des programmes expérimentaux réalisés dans des installations spécialisées. Les bases de données créées pour évaluer le retour d'expérience sont également décrites.

Domaines d'investigation

L'OCDE/AEN mène actuellement 14 projets dans le domaine de la sûreté nucléaire que l'on peut subdiviser selon les catégories suivantes :

- *Les projets relatifs au combustible*, qui concernent l'évaluation du comportement du combustible, des limites et des marges de sûreté du combustible en présence d'un éventail de conditions d'exploitation ou de conditions d'accidents hypothétiques. Ces études exigent normalement une infrastructure expérimentale importante et onéreuse et, dans certains cas, des moyens exceptionnels tels que des réacteurs d'essai ou des cellules chaudes spécialisées. Il est courant que les autorités de sûreté et l'industrie participent ensemble à ces projets, chacun dans son rôle respectif, parce que le partage des coûts est un moyen pratique de mener à bien des programmes de recherche, mais surtout parce que la coopération avec l'industrie est essentielle

* M. Carlo Vitanza (carlo.vitanza@oecd.org) travaille dans la Division de la sûreté nucléaire de l'AEN.

Tableau 1. Projets communs actuels de l'OCDE/AEN *

Intitulé du projet	Sujet	Pays hôte
HALDEN	Combustible et matériaux, contrôle-commande, facteurs humains	Norvège
CABRI	Comportement du combustible lors des accidents de réactivité	France
SCIP	Intégrité du combustible	Suède
ROSA	Transitoires thermohydrauliques	Japon
PKL	Thermohydraulique des REP, dilution du bore	Allemagne
SETH	Confinement (thermohydraulique, MFN)	Suisse
PSB-VVER	Transitoires thermohydrauliques dans des VVER 1000	Russie
MASCA-2	Accidents graves (en cuve)	Russie
MCCI	Accidents graves (hors cuve)	États-Unis
PRISME	Propagation des incendies	France
COMPSIS	Base de données, incidents affectant les systèmes informatiques	
FIRE	Base de données, incendies	
ICDE	Base de données, défaillances de cause commune	
OPDE	Base de données, défaillances de tuyauterie	

* Pour de plus amples informations sur ces projets, se reporter à www.nea.fr/html/jointproj/.

- pour obtenir les éprouvettes de combustible ou de matériaux indispensables aux expériences.
- *Les projets thermohydrauliques*, qui portent essentiellement sur des accidents hypothétiques comme la perte de réfrigérant primaire (APRP) ou d'autres transitoires thermohydrauliques considérés comme le principal problème de sûreté que posent les réacteurs à eau. Étant donné qu'il est impossible, dans la plupart des cas, d'effectuer des expériences pleine échelle, on a besoin d'importants moyens de calcul pour simuler correctement ces transitoires comme l'exige l'établissement du dossier de sûreté de ces réacteurs. Le CSIN a toujours accordé une grande attention à la validation des codes de thermohydraulique ainsi qu'aux bases de données expérimentales indispensables à cette validation.
 - *Les projets d'évaluation des accidents*, qui concernent actuellement deux projets d'expérimentation de scénarios d'accidents graves consécutifs à l'endommagement et la fusion du cœur, et un projet expérimental consacré à la simulation de plusieurs scénarios de propagation d'incendie applicables à des centrales nucléaires. La prévention et la maîtrise de la propagation des incendies sont considérées comme essentielles pour réduire le risque d'accident dans les installations nucléaires,
- tandis que la prévention et la mitigation des accidents graves sont les principales mesures de réduction du risque que l'exploitation d'une centrale fait courir au public.
- *Les projets de bases de données*, dont la principale fonction est de recueillir des données et informations importantes sur les défaillances ou dysfonctionnements d'équipements survenus au cours de l'exploitation. Ces bases de données sont sources d'enseignements et servent à définir les mesures à prendre pour les remplacements ou la maintenance préventive. La collaboration internationale est essentielle dans ce cas car elle permet de constituer un retour d'expérience aussi riche que possible sur des événements qui, par nature, sont relativement rares.

Lancement et organisation des projets

À l'origine du lancement d'un projet commun de l'OCDE/AEN il y a normalement une initiative d'un pays membre ou une recommandation spécifique du CSIN. Dans la phase de lancement, le CSIN définit les étapes à suivre mais, une fois que le projet a démarré, la responsabilité de l'exécution du projet revient aux parties qui ont décidé de s'y associer. Ces projets sont par conséquent gérés de manière relativement autonome, car ce sont les pays et participants qui

ont décidé de financer le projet qui définissent les détails du programme.

En l'absence de financement pré-établi, ces projets doivent être financés au cas par cas. De ce point de vue, l'attrait que le programme proposé présente pour un grand nombre de participants a un impact déterminant sur la répartition des coûts. Dans le cas des projets expérimentaux, il est courant que le pays hôte (le pays où se déroule l'expérience) assume une bonne partie des coûts du projet, en général 50 %.

Un « opérationnel » est chargé de mener à bien le programme conformément aux instructions d'un groupe de pilotage constitué des participants au projet. Ce groupe de pilotage non seulement donne les instructions techniques, mais il définit les principales règles administratives, par exemple concernant les produits de l'activité, les rapports à fournir et les restrictions concernant la diffusion des données.

L'AEN, de son côté, a pour mission de faciliter le lancement et l'exécution du projet, conformément aux instructions du CSIN. Elle s'assure donc que le projet se déroule selon des principes de transparence et d'efficacité rationnels, que le périmètre des travaux correspond bien aux attentes des divers participants et que les solutions consensuelles sont bien représentées dans le programme. L'expérience du Projet de réacteur de Halden, qui se poursuit avec succès depuis bientôt cinquante ans, constitue la référence pour la plupart des autres projets communs de l'OCDE/AEN.

Les projets communs en sûreté de l'AEN se sont en général déroulés dans d'excellentes conditions. Les accords de projet contiennent des dispositions pour trouver une solution lorsque le consensus fait défaut, mais, heureusement, il n'a jamais été nécessaire d'y recourir. En général, les participants sont conscients que le consensus garantit un déroulement satisfaisant du projet et l'obtention de résultats dont tous finalement profiteront.

Il est courant qu'une partie ou la totalité des participants au projet entreprennent parallèlement les activités analytiques liées à la prévision et l'interprétation des données, à la mise au point des modèles et à la validation des codes de calcul. Ces analyses sont un complément très précieux et apportent une valeur ajoutée aux projets en sûreté de l'AEN. Elles contribuent à la préservation ou à l'amélioration des compétences et outils d'analyse dans les pays membres, à intensifier les échanges techniques entre spécialistes et à favoriser le consensus sur des méthodes permettant de résoudre certains problèmes de sûreté. À l'avenir, les défis consisteront probablement à pouvoir répondre aux demandes multiples de nouveaux projets tout en

préservant la qualité et l'efficacité et à obtenir une participation et une mutualisation des coûts suffisantes. Comme l'a souligné le rapport du Groupe sur la coopération autorités de sûreté-industrie dans le domaine de la recherche sur la sûreté (GRIC)¹, la participation accrue de l'industrie au projet pourrait favoriser cette évolution et serait souhaitable pour diverses autres raisons.

Le Groupe SESAR

Au cours des dernières années, le CSIN a commandité des études sur la recherche en sûreté à des spécialistes éminents (SESAR-FAP² et SESAR SFEAR³) qui ont ainsi défini les priorités techniques concernant les installations et programmes de recherche en sûreté nucléaire. Ces études ont débouché sur des rapports définissant les besoins et les priorités de la recherche dans les domaines de la thermohydraulique, des combustibles et de la physique des réacteurs, des accidents graves, des facteurs humains, des contrôles-commandes des installations, de l'intégrité des composants et des structures ainsi que du comportement sismique des structures.

Ces études sont parvenues à la conclusion que, dans certains domaines, il n'est pas nécessaire actuellement de mettre en place un suivi particulier soit parce qu'il existe déjà l'infrastructure et les programmes adéquats soit parce que ces domaines ne sont pas prioritaires. Toutefois la thermohydraulique et les accidents graves nécessitent actuellement une attention et un suivi particuliers. Le CSIN a par conséquent axé ses efforts sur ces deux thèmes, sans oublier qu'il lui faudra probablement se préoccuper également d'autres sujets tels que la sécurité incendie ou le comportement sismique.

Le tableau 2 résume les recommandations du Groupe SESAR en 2000, ainsi que les mesures prises par le CSIN en conséquence (deuxième colonne). L'impact de ces initiatives sur les évaluations ultérieures du SESAR apparaît dans la dernière colonne du tableau.

L'expérience a démontré que tous les projets communs de l'AEN concernant la sûreté nécessitent des travaux analytiques substantiels pour l'exécution du programme expérimental. Ces activités consistent principalement à évaluer et valider les codes et, le cas échéant, à mettre au point des modèles. Des comparaisons de codes et des exercices analytiques comprenant des calculs préalables, mais aussi postérieurs, aux essais sont organisés entre les participants, l'optique étant toujours d'exploiter ces données pour les réacteurs. Ce travail analytique considérable s'est révélé un moyen très efficace de préserver et de développer les compétences techniques pertinentes. S'agissant

Tableau 2. État de la mise en œuvre des recommandations du SESAR-CSIN

Recommandation du SESAR (année 2000)	Action du CSIN	Répercussion sur les évaluations ultérieures du SESAR (année 2006)
1. Préserver les installations PANDA, PKL et SPES pour des études de thermohydraulique (ces installations étaient en instance de fermeture).	Lancement du programme SETH sur les installations PANDA et PKL (l'installation SPES ne bénéficie pas du soutien du pays hôte).	<ul style="list-style-type: none"> - L'installation PANDA est maintenue en service toute l'année 2005. Actuellement, risque d'être fermée à court terme. Problème traité dans l'étude ultérieure du SESAR (SFEAR). - L'installation PKL est en service et ne risque pas d'être fermée à court terme.
2. Surveiller et préserver les installations thermohydrauliques essentielles à long terme. Des installations thermohydrauliques devront être préservées en Amérique du Nord, en Europe et en Asie.	Suivi de l'état des installations. Lancement d'un programme sur l'installation ROSA qui était menacée de fermeture.	L'installation ROSA est en service et ne risque pas la fermeture à court terme. Un suivi d'autres installations thermohydrauliques est en place.
3. Préserver les installations RASPLAV et MACE pour l'étude des accidents graves (ces installations étaient menacées de fermeture à court terme).	<ul style="list-style-type: none"> - Lancement du programme MASCA dans le prolongement du programme RASPLAV pour préserver les installations. - Lancement du programme MCCI sur l'installation MACE. 	<ul style="list-style-type: none"> - L'installation MASCA est actuellement en service. - Le programme MCCI est en cours, de sorte que l'installation MACE ne risque pas d'être fermée à court terme.
4. Créer un centre d'excellence sur les études d'interactions combustible-réfrigérant compte tenu du risque de perdre les installations FARO et KROTOS.	Lancement du programme SERENA (un groupe d'experts doit faire le point sur les études des interactions combustible-réfrigérant et les expériences nécessaires). L'installation FARO a été fermée. L'installation KROTOS est en stand-by.	Le programme SERENA recommande de lancer un programme expérimental dans l'installation KROTOS, ce qui pourrait favoriser le maintien de l'installation. Un groupe d'experts du CSIN doit examiner cette recommandation.
5. Établir un centre d'excellence pour l'étude de la chimie de l'iode et du comportement des produits de fission.	Cette proposition fait actuellement l'objet d'une évaluation.	Actuellement, il n'est pas nécessaire que le CSIN prenne d'autres mesures.

des projets de bases de données, des ateliers sont organisés lorsque nécessaire pour évaluer les principales conclusions et les enseignements majeurs que l'on peut tirer des données recueillies et des événements répertoriés dans ces bases.

Pour de plus amples informations concernant les projets communs de l'OCDE/AEN dans le domaine de la sûreté nucléaire, se reporter à www.nea.fr/html/jointproj/. ■

Références

1. AEN (2003), *Coopération autorités de sûreté-industrie pour la recherche en sûreté nucléaire – Défis et potentialités*, OCDE, Paris.
2. AEN (2001), *Nuclear Safety Research in OECD Countries – Summary Report of Major Facilities and Programmes at Risk*, OCDE, Paris.
3. AEN (à paraître), *Support Facilities for Existing and Advanced Reactors (SFEAR)* (titre provisoire), OCDE/AEN, Paris.

Réglementation de la gestion des déchets radioactifs

A. Duncan, C. Pescatore *

Le Forum des régulateurs du Comité de la gestion des déchets radioactifs (RWMC-RF) a été créé en 2001 pour faciliter les communications et échanges d'informations multilatéraux entre les autorités de sûreté représentées au RWMC¹. Son premier grand chantier a consisté à recueillir des informations sur la réglementation de la gestion des déchets, en particulier le stockage, dans 15 pays membres de l'AEN. Les informations ainsi collectées concernent les politiques nationales de gestion des déchets radioactifs, les cadres institutionnels, législatifs et réglementaires, les prescriptions en vigueur, la classification et les sources de déchets, l'état d'avancement de la gestion des déchets, les problèmes en suspens et les programmes de R-D associés. Le rapport qui en a été établi sous le titre *Le contrôle réglementaire de la gestion des déchets radioactifs – Panorama de 15 pays membres de l'AEN*² est une mine d'informations pour tous ceux qui souhaitent se renseigner sur les fonctions et pratiques réglementaires dans ces pays membres de l'AEN.

Dans la phase suivante, le Forum des régulateurs a entrepris d'établir, dans une brochure, une présentation synoptique du rapport qui soit simple à comprendre et qui permette de se faire rapidement une idée des systèmes réglementaires et des dispositifs en place dans les pays membres de

l'AEN. Cette brochure décrit la façon dont sont gérés les déchets radioactifs de tous les types d'installations nucléaires, qu'il s'agisse des réacteurs de puissance, des réacteurs de recherche, des usines du cycle du combustible nucléaire ou des sources utilisées en médecine, dans la recherche et dans l'industrie voire, le cas échéant, des sources employées pour la défense nationale. Elle décrit les situations nationales au cours du premier semestre de 2005 mais ne traite pas du contrôle réglementaire des déchets radioactifs d'origine naturelle. En voici les grandes lignes³.

Le cycle réglementaire

Comme toutes formes de réglementation, le contrôle réglementaire de la gestion des déchets radioactifs s'appuie sur un certain nombre de maillons et d'administrations pour son élaboration et sa mise en œuvre. Les maillons du processus réglementaire visent à créer un cercle vertueux dans lequel le processus de rétroaction permet une amélioration continue.

Le processus commence avec la prise de conscience de l'existence d'une pratique exigeant un contrôle réglementaire et la conception d'une politique destinée à mettre en œuvre ce contrôle. Dans le cas de la gestion des déchets radioactifs, il s'agissait à l'origine de protéger le grand public et les travailleurs contre les dangers des rayonnements ionisants en établissant des objectifs et des normes s'inspirant des recommandations de la Commission internationale de protection radiologique (CIPR). Plus récemment, ces exigences se sont élargies aux objectifs environnementaux, internationaux, sociaux et économiques lorsque l'on a entrepris de fixer les finalités, normes et consignes pour le choix des sites de dépôts, la conception des colis de déchets, la surveillance, etc. La finalité ultime reste néanmoins la sécurité du public et de l'environnement.

* M. Allan Duncan (allan.duncan@talk21.com), ancien Directeur et Inspecteur en Chef, Her Majesty's Inspectorate of Pollution, et Chef de la Réglementation des substances radioactives, Agence de l'environnement (Angleterre et Pays de Galles), est membre du Forum des régulateurs du Comité de la gestion des déchets radioactifs (RWMC-RF) de l'AEN ; M. Claudio Pescatore (pescatore@nea.fr) est Administrateur principal pour la gestion des déchets radioactifs à l'AEN.

Après la mise en place d'une politique globale et la définition des principaux objectifs, vient l'adoption de la législation et de ses textes d'application, c'est-à-dire la réglementation, les règles, les ordonnances, décrets, arrêtés, etc. À moins d'être considérés comme suffisamment détaillés, ces instruments s'accompagnent en général de la publication de normes et de recommandations expliquant comment les appliquer dans la pratique.

L'autorisation d'une pratique prévue dans une disposition de la législation et de la réglementation est normalement accordée par un acte juridique officiel, souvent une autorisation, mais parfois aussi un décret ou un permis. Cet instrument expose les modalités précises d'exécution de l'activité et est délivré à la personne ou à l'entreprise considérée en droit comme responsable de la pratique réglementée. Dans certains cas, l'autorisation peut couvrir tous les aspects de la réglementation qui concernent l'activité ou le procédé réglementé, depuis sa planification initiale et sa mise en place jusqu'à la dernière phase de l'élimination des déchets en passant par la médecine du travail et la sécurité des travailleurs et la prévention des accidents. Il arrive aussi que l'autorisation traite séparément de tous ces aspects en tenant compte néanmoins de leurs interactions. Par la suite, des inspections et le contrôle des activités permettent de vérifier que les modalités spécifiées dans l'autorisation sont respectées. Les infractions font souvent l'objet d'avis ou de mises en demeure adressées à l'exploitant ou peuvent aussi être réglées par d'autres moyens, comme l'éducation, que l'on pourrait classer globalement dans les mesures d'encouragement à respecter la réglementation. Le non-respect des dispositions de l'autorisation est, s'il le faut, sanctionné.



Posiva Oy, Finlande.

Entrée du tunnel de l'installation souterraine de caractérisation ONKALO sur le futur site de dépôt, en Finlande.

Toutes ces activités supposent, dans la plupart des pays membres de l'AEN, une forte participation du public lors de consultations et d'échanges d'informations, et s'appuient invariablement sur des programmes de R-D. Dans les pays où des dispositions spécifiques ont été prises pour payer les frais de l'activité réglementée, la gestion des déchets, par exemple, ces activités englobent l'estimation des coûts, leur validation et la gestion des fonds. Le cas échéant, le contrôle peut aussi comprendre les transports transfrontières de matières et de déchets radioactifs et les garanties internationales contre la prolifération des armes nucléaires.

En fin de cycle, il existe normalement des mécanismes permettant d'évaluer l'efficacité du système réglementaire et, si nécessaire, de prendre les mesures correctives au niveau de l'étape d'autorisation, voire de la législation. Par ailleurs, dans la plupart des systèmes réglementaires, il est prévu un suivi après la délivrance de l'autorisation pour veiller au bon fonctionnement de l'installation et, le cas échéant, des mesures correctrices dont des interventions matérielles de réparation ou de récupération. C'est vrai de la réglementation de phases de la gestion des déchets radioactifs telles que le transport, l'entreposage, l'évacuation des effluents voire, parfois, le stockage des déchets de faible activité.

Le stockage des déchets radioactifs à vie longue se distingue toutefois des activités mentionnées ci-dessus par le fait que ses répercussions ne se feraient sentir que dans un avenir très lointain, voire pas du tout. Assurer un suivi est impossible dans ce cas, de même que les actions correctrices paraissent invraisemblables à moins qu'elles ne soient entreprises, de leur propre initiative, par les générations futures. En tout état de cause, les autorités de sûreté actuellement en place sont privées d'un des instruments majeurs dont elles se servent traditionnellement pour garantir la sécurité. Accorder l'autorisation de stocker des déchets à vie longue et de fermer un dépôt suppose, par conséquent, de renoncer à cet élément majeur qu'est le contrôle actif. Il faut alors s'appuyer sur l'évaluation de concepts intrinsèquement sûrs, ce qui relève en fait d'une manifestation de confiance dans la technologie et les systèmes juridiques et réglementaires de la part de la génération actuelle au nom des générations futures⁴.

Analyse des dispositifs réglementaires dans les pays membres de l'AEN

Compte tenu de tous les éléments du cycle réglementaire, le RWMC-RF a établi une compilation des informations recueillies sur les dispositifs mis en place dans les différents pays. Cette compilation a été effectuée à l'aide d'un modèle standard conçu

pour intégrer tous les aspects du contrôle réglementaire de la gestion des déchets radioactifs et faciliter les comparaisons entre pays sur certains points. Pour chacun des 15 pays membres de l'AEN, on trouve, dans la brochure, un tableau récapitulatif des autorités en charge des aspects suivants :

- définition des politiques et objectifs, et avis indépendants ;
- législation et textes d'application, réglementations, etc. ;
- normes et consignes ;
- autorisations, inspections, sanctions et appels ;
- participation du public ;
- recherche et développement ;
- estimation des coûts pour la constitution des fonds pertinents ;
- divers (par exemple, transport transfrontières des déchets, garanties nucléaires, etc.).

Bien sûr, ces informations ne donnent qu'une représentation très simple d'un maillon particulier de l'infrastructure réglementaire. Pour une comparaison fine de la réglementation de la gestion des déchets radioactifs dans les différents pays membres de l'AEN, on se servira des informations détaillées qui se trouvent dans le recueil principal d'informations nationales. Néanmoins, cette brochure identifie clairement les autorités nationales responsables de maillons spécifiques de la réglementation et permet une première comparaison susceptible de faciliter les communications et échanges d'expériences. Cette comparaison est présentée dans la brochure et a donné lieu à des observations intéressantes qui sont résumées ci-dessous.

Observations générales concernant le rôle des autorités de sûreté

Les systèmes adoptés pour l'application de la législation et de la réglementation régissant toutes ces étapes varient d'un pays à l'autre. Il en va de même de la réglementation des déchets selon que ces derniers proviennent de sites nucléaires ou non nucléaires comme les hôpitaux, les universités, les laboratoires de recherche et l'industrie ou encore d'établissements relevant de la défense nationale. Il est clair cependant qu'il n'existe pas de solution meilleure ou universelle et que les dispositifs mis en place dépendent du régime politique du pays (fédération ou État), de la structure des systèmes juridiques, des cadres organisationnels et, dans une large mesure, de la culture réglementaire.

Dans la plupart des cas, les décisions sont la résultante d'un large éventail d'avis autorisés d'organes aussi variés que le gouvernement central et les

collectivités locales, les autorités techniques publiques et les commissions et organismes consultatifs indépendants. Les autorités techniques sont le plus souvent désignées sous les vocables de régulateurs, d'organes réglementaires ou d'autorités de sûreté. On s'aperçoit également qu'il y a normalement une ou plusieurs autorités techniques chargées de délivrer les autorisations (et de donner des conseils quant à leur contenu), de vérifier que les conditions qui y sont spécifiées sont respectées et, très souvent, de prendre les mesures qui s'imposent pour sanctionner le non-respect de ces conditions.

De ce fait, l'autorité ou le décideur concerné variera avec le sujet en question et les décisions à prendre. Pour identifier l'autorité responsable au premier chef d'un problème particulier, il importe de posséder une connaissance approfondie de la législation et du régime politique du pays en question, qui peuvent être très différents suivant les pays. Il faut être conscient par ailleurs que ces organismes ont rarement les mains entièrement libres et que, dans la plupart des pays membres de l'AEN, ils doivent tenir compte des compétences et prérogatives d'autres organismes, souvent des ministères.

Pour de plus amples informations sur les travaux du Forum des régulateurs du RWMC, se reporter à www.nea.fr/html/rwm/regulator-forum.html. ■

Notes

1. Le lecteur trouvera une description complète du mandat du RWMC-RF à www.nea.fr/html/rwm/regulator-forum.html.
2. Cet ouvrage (ISBN 92-64-10651-0) peut être commandé en ligne à l'adresse www.oecdbookshop.org/. Les 15 pays membres de l'AEN concernés sont l'Allemagne, la Belgique, le Canada, l'Espagne, les États-Unis, la Finlande, la France, la Hongrie, l'Italie, le Japon, la Norvège, la République slovaque, le Royaume-Uni, la Suède et la Suisse.
3. On notera que les membres du RWMC-RF gèrent une base de fiches nationales consacrées au contrôle réglementaire de la gestion des déchets radioactifs, qui est mise à jour tous les ans. Cette base peut être consultée à www.nea.fr/html/rwm/rf/welcome.html.
4. C'est le thème d'autres études menées en parallèle par le Comité de la gestion des déchets radioactifs de l'AEN (RWMC).

Défis et avantages possibles de la séparation-transmutation

M. Salvatores, B.-C. Na, C. Nordborg *

Le risque radiologique associé au combustible nucléaire irradié est principalement dû à quelques éléments chimiques : le plutonium, le neptunium, l'américium, le curium et quelques produits de fission à vie longue, comme l'iode et le technétium. Ces sous-produits radioactifs, bien que présents à de très faibles concentrations dans le combustible irradié, constituent un danger pour les différentes formes de vie lorsqu'ils sont libérés dans l'environnement. De ce fait, leur stockage exige leur isolement de la biosphère dans des formations géologiques profondes et stables sur de longues périodes.

On considère que la séparation-transmutation est un moyen de réduire la charge pesant sur le dépôt géologique. Étant donné que le plutonium et les actinides mineurs sont principalement responsables de la radiotoxicité à long terme, une fois ces nucléides extraits du combustible irradié (séparation), puis transformés par fission (transmutation), les déchets restants perdent une grande partie de leur radiotoxicité à long terme.

Il est possible de démontrer que l'inventaire radiotoxique pourrait être réduit d'un facteur d'au moins 10, si tout le plutonium était recyclé dans des réacteurs. On peut obtenir des facteurs de réduction supérieurs à 100 si, de surcroît, les actinides mineurs sont brûlés. Pour parvenir à une réduction aussi importante, il faut éliminer la quasi-totalité des actinides par fission, ce qui

nécessite un multirecyclage. En outre, la stratégie de séparation-transmutation permet, en principe, de réduire à la fois la masse des radionucléides à stocker et leur chaleur résiduelle et, par extension possible, le volume et le coût du dépôt. Pour ce faire, il reste néanmoins un certain nombre de défis à relever, en particulier dans les domaines de la séparation et de la conception des combustibles.

Recyclage dans les REO et les réacteurs à neutrons rapides

Tous les scénarios de séparation-transmutation impliquent un retraitement du combustible et un recyclage des actinides et, éventuellement, des produits de fission. Le recyclage du plutonium est une première étape incontournable. À l'heure actuelle, cette stratégie est devenue une réalité industrielle, mise en œuvre dans de nombreux pays utilisant, pour ce faire, des réacteurs à eau ordinaire (REO) standard. Plusieurs études ont été consacrées à l'évaluation du recyclage du plutonium et des actinides mineurs dans des réacteurs de puissance. Les caractéristiques détaillées, dont des tableaux des inventaires de plutonium, d'actinides mineurs et de produits de fission, des trois stratégies du cycle du combustible décrites ci-dessous sont comparées par exemple dans l'article cité à la référence 1 :

- multirecyclage du plutonium dans des REO ;
- multirecyclage du plutonium et des actinides mineurs dans des REO ;
- recyclage du plutonium et du plutonium avec les actinides mineurs dans des réacteurs à neutrons rapides.

Une des principales conclusions de cette comparaison est que la solution la plus prometteuse pour le multirecyclage du plutonium et des actinides mineurs consiste à utiliser des réacteurs à neutrons rapides. En fait, le multirecyclage de tous les

* M. le Professeur Massimo Salvatores (massimo.salvatores@cea.fr) est Conseiller scientifique auprès du Directeur de l'Énergie nucléaire au CEA en France et du Directeur adjoint du Laboratoire national d'Argonne aux États-Unis ; M. Byung-Chan Na (byung-chan.na@iket.fzk.de) était, au moment de la rédaction, le Secrétaire scientifique du Sous-groupe de l'AEN sur la physique et la sûreté des systèmes de transmutation ; M. Claes Nordborg (nordborg@nea.fr) est Chef de la Section des sciences nucléaires de l'AEN. Cet article s'inspire et comporte des extraits de la publication *Physics and Safety of Transmutation Systems: A Status Report*, (OCDE/AEN, Paris, 2006).

actinides mineurs dans des réacteurs à eau ordinaire a une incidence considérable sur le cycle du combustible (par exemple, sur la fabrication du combustible du fait que les doses neutroniques sont multipliées par un facteur d'environ 10 000), ce qui rend cette stratégie impraticable.

Le plutonium et les actinides mineurs peuvent être recyclés dans des réacteurs à spectre neutronique rapide en mode homogène ou en mode hétérogène. Le mode de recyclage homogène consiste en un système capable de recycler le plutonium et les actinides mineurs ensemble (évitant une séparation du plutonium et des actinides mineurs), de stabiliser les flux de plutonium et d'actinides mineurs et de ne laisser qu'une petite fraction des actinides radiotoxiques (pertes au retraitement) dans les déchets. En fait, si l'on suppose que les pertes durant le retraitement sont de l'ordre de 0,1 %, le recyclage homogène permet d'obtenir une réduction de la radiotoxicité potentielle d'un facteur de près de 200 par rapport au scénario du cycle ouvert (où le combustible n'est irradié qu'une seule fois avant d'être définitivement stocké), et cela sur une période allant de 100 à 1 million d'années. Cette réduction est si importante que la radiotoxicité dans les dépôts de stockage en formation géologique profonde devient comparable à celle du minerai d'uranium initial après une période de moins de mille ans. Les principaux avantages du recyclage homogène résident dans son utilisation optimale des ressources pour la production d'énergie, ainsi qu'en principe dans sa compatibilité avec plusieurs options, en termes de taille de réacteur, de combustible, de réfrigérant du réacteur et de formes de déchets entre autres.

Le recyclage hétérogène consiste à procéder à la transmutation des actinides mineurs sous forme de cibles chargées dans des sous-assemblages spécifiques de cœurs critiques de type standard. Cette méthode a pour principal avantage de concentrer la maintenance d'un inventaire réduit d'actinides mineurs (séparés du plutonium) dans un cycle du combustible spécifique. En revanche, un de ses éventuels inconvénients est le temps d'irradiation extrêmement long nécessaire pour procéder à la fission d'une quantité importante d'actinides mineurs. En fait, le facteur limitatif est, pour le recyclage hétérogène, la valeur du taux de fission atteignable dans des conditions réalistes, alors que pour le recyclage homogène il s'agit des performances de séparation. Un autre inconvénient possible de cette technique est l'impact qu'elle a sur les caractéristiques du réacteur (par exemple sur les distributions de puissance) en raison de la présence d'assemblages cibles dans le cœur. Dans l'ensemble, la plupart des études indiquent que la transmutation des produits de fission à vie longue (comme le technétium-99 et l'iode-129) est difficilement praticable et que son impact est incertain.

Systèmes hybrides (ADS) dédiés

Une autre solution consiste à séparer le cycle du combustible des actinides mineurs et la technologie de transmutation de la production d'électricité. Il suffirait pour ce faire d'utiliser des cœurs de réacteurs à neutrons rapides dédiés dans lesquels le combustible au plutonium est fortement chargé en actinides mineurs. Les inconvénients possibles de ces cœurs critiques dédiés proviennent des difficultés soulevées par la dégradation des paramètres de sûreté : très faible fraction de neutrons retardés et effet Doppler diminué. Ces inconvénients ont poussé les chercheurs à mettre au point le concept de système sous-critique à neutrons rapides piloté par accélérateur (ADS) et le concept du cycle du combustible dit à « double strate », décrits plus loin dans cet article.

Pour se faire une idée des caractéristiques d'un ADS typique (accélérateur de protons de 600 MeV couplé par l'intermédiaire d'une cible de spallation au cœur d'un réacteur sous-critique à neutrons rapides), un calcul assez simplifié montre que le faisceau de l'accélérateur doit être de l'ordre de 5 mA (3 MW_{th} dans le faisceau de particules) pour un cœur sous-critique de 0,99 et d'environ 25 mA (15 MW_{th} dans le faisceau) pour un cœur sous-critique de 0,95. Ces chiffres révèlent que le choix du niveau de sous-criticité est crucial et qu'il est probablement difficile d'envisager un cœur extrêmement sous-critique (par exemple $k < 0,95$), en raison des caractéristiques très contraignantes de l'accélérateur requis (>15 MW_{th} dans le faisceau), des conditions strictes de fiabilité à respecter pour l'accélérateur et du coût de l'énergie nécessaire pour l'alimenter. La démonstration des composants du concept ADS (à savoir accélérateur de protons très puissant, cible de spallation, cœur sous-critique) et de leur comportement en fonctionnement (par exemple, surveillance continue et efficace de la sous-criticité à l'aide de techniques expérimentales appropriées) constituent un véritable défi pour la R-D.

Scénarios de séparation-transmutation faisant appel à des cœurs à spectre de neutrons rapides

On décrit ici trois des scénarios de séparation-transmutation les plus couramment étudiés. Tous trois vont au-delà de la stratégie du cycle du combustible ouvert et suppose le retraitement du combustible. Les caractéristiques de ces trois scénarios sont exposées ci-dessous.

Développement de l'énergie nucléaire conjugué à une minimisation des déchets

Ce scénario peut être mis en œuvre avec des réacteurs à neutrons rapides de Génération IV, avec un recyclage

homogène du plutonium (Pu) et des actinides mineurs simultanément (2 à 5 % d'actinides mineurs dans le combustible). Cela permet de réduire considérablement les déchets radioactifs en termes de volume, de radiotoxicité et de charge thermique. Cela permet également de préserver les ressources (le plutonium est une ressource essentielle) et de garantir une meilleure résistance à la prolifération (le plutonium et les actinides mineurs ne sont pas séparés).

Une variante peut également être envisagée : elle consiste à utiliser le mode de recyclage hétérogène décrit plus haut. Les cibles d'actinides mineurs (sur un support d'uranium, par exemple) seraient alors chargées à la périphérie du réacteur rapide de Génération IV.

Cycle du combustible à « double strate »

Le cycle du combustible à double strate consisterait à utiliser des réacteurs de puissance commerciaux pour incinérer le plutonium recyclé dans du combustible MOX, et à séparer la gestion des actinides mineurs en utilisant à priori un ADS. Les actinides mineurs seraient brûlés dans un système « transmutateur » dédié, qui pourrait être soit un réacteur rapide critique à faible taux de conversion ou un réacteur hybride sous-critique (ADS) chargé de combustibles ne contenant pas d'uranium.

Ce scénario a pour principal avantage de permettre de séparer la gestion des actinides mineurs du cycle du combustible commercial. On devrait aboutir à une réduction de la radiotoxicité similaire à celle attendue dans le scénario 1 décrit ci-dessus, si les performances de séparation (pertes au retraitement ou taux de récupération des transuraniens, par exemple) sont à peu près les mêmes dans les deux scénarios.

Réduction des stocks de transuraniens (TRU)

Ce scénario, qui fait appel au multirecyclage du plutonium et des actinides mineurs dans des transmutateurs dédiés permet de réduire les stocks de ces éléments dans le combustible usé qui pourra être utilisé, par exemple, en cas d'abandon progressif des centrales nucléaires. Néanmoins, si ce scénario est mis en œuvre par un pays de façon isolée, il suppose un déploiement important de nouvelles installations (installations de retraitement et de fabrication du combustible et réacteurs pilotés par accélérateur, entre autres). En outre, l'élimination de 80 % de l'inventaire initial de transuraniens demanderait une centaine d'années.

Avantages potentiels de la séparation-transmutation

La séparation-transmutation présente des avantages importants pour le cycle du combustible.

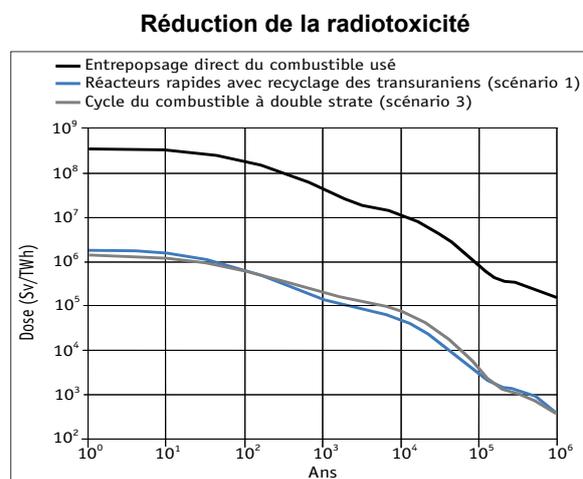
Citons entre autres :

- la réduction du volume de déchets et de la charge thermique pour leur enfouissement en formation géologique, de sorte qu'une quantité plus importante de déchets radioactifs peut être stockée dans le même dépôt ;
- la réduction de la radiotoxicité dans le dépôt de stockage en formation géologique profonde (ce qui est important dans l'hypothèse d'une « intrusion ») ;
- une meilleure résistance à la prolifération si les éléments transuraniens ne sont pas séparés (par recyclage homogène dans un réacteur à neutrons rapides, par exemple).

La capacité de stockage dans un dépôt de déchets radioactifs, du type de celui de Yucca Mountain, peut être augmentée sensiblement si certains des actinides et des produits de fission sont extraits des déchets avant que ceux-ci ne soient envoyés au dépôt. À supposer que le taux de séparation soit de 99,9 %, l'élimination du plutonium et de l'américium permettra de multiplier par 6 la capacité de stockage. Si, en outre, on sépare le curium, le césium et le strontium, la capacité pourra être multipliée par 50, voire plus.

En termes de réduction prévue de la charge thermique dans un dépôt, le multirecyclage du plutonium et le stockage des actinides mineurs ont des avantages limités (inférieurs à un facteur de 2). En revanche, le multirecyclage du plutonium et de l'américium, associé au stockage du curium, a un impact plus favorable (d'un facteur de 5 ou 6, 1 000 ans après le stockage). Si le curium est entreposé et non stocké, la réduction théorique de la charge thermique est comparable à celle obtenue lorsque tous les éléments transuraniens sont complètement recyclés dans un réacteur rapide.

On peut voir sur la figure la réduction de la radiotoxicité obtenue avec différents scénarios.



Notons que l'on obtient la même réduction avec le recyclage homogène et le scénario du cycle du combustible à double strate, en supposant équivalentes les performances de la séparation chimique. La réduction est tellement importante qu'à l'équilibre, la radiotoxicité potentielle des déchets radioactifs enfouis dans le dépôt tombe, après moins de 1 000 ans, au niveau de la radiotoxicité du minerai d'uranium initial.

Quelques défis encore associés à la séparation-transmutation

On peut dire qu'en règle générale, la physique de la transmutation est bien comprise. Des expériences ont été réalisées en irradiant des échantillons purs d'isotopes transuraniens dans des réacteurs de puissance ; les résultats obtenus correspondent bien aux calculs. Ce sont en fait la séparation des actinides et la conception du combustible qui posent les principaux défis. Citons quelques exemples :

- La chimie des actinides est complexe : ainsi la séparation de l'américium et du curium des lanthanides est difficile. Des résultats prometteurs ont été obtenus, en particulier avec les procédés aqueux (se reporter par exemple à l'ouvrage cité à la référence 3), mais la mise en œuvre industrielle des procédés mis au point à l'échelle des laboratoires représente encore un défi majeur.
- La conception et le traitement des combustibles, et en particulier des combustibles sans uranium, pour la transmutation dans des ADS ou de cibles d'un recyclage hétérogène sont toujours à l'étude.
- Les procédés (pyrochimiques) par voie sèche (probablement plus appropriés aux combustibles sans uranium) doivent encore faire l'objet d'importantes recherches. La production et la gestion des déchets secondaires sont aussi une source de préoccupations.
- La forte chaleur de décroissance et l'émission neutronique importante de plusieurs éléments transuraniens de nombre de masse supérieur soulèvent de nouveaux problèmes en ce qui concerne la fabrication standard de combustibles.

En outre, les scénarios faisant appel à un système ADS nécessitent la validation de nouveaux concepts, comme les accélérateurs de protons de forte intensité extrêmement faibles ayant 5 à 20 MW dans le faisceau, des cibles de spallation utilisant du métal solide ou liquide, un couplage complet des différents composants de l'ADS et la validation du comportement dynamique d'un système sous-critique en présence d'une source externe.

Enfin, aucune stratégie de séparation-transmutation ne peut être mise en œuvre sans procéder auparavant à une analyse minutieuse des coûts et des avantages. Une première analyse a été réalisée

(voir référence 4) pour tenter de quantifier l'impact sur l'ensemble des installations du cycle du combustible (y compris différents types d'environnements géologiques) et donner des estimations préliminaires de coûts.

Conclusions

Il est possible de tirer les conclusions suivantes des réflexions présentées ci-dessus et des études auxquelles le texte se réfère :

- Les technologies de séparation-transmutation peuvent contribuer à réduire considérablement les déchets radioactifs.
- La séparation-transmutation ne rend pas inutile l'enfouissement en formation géologique profonde, quelle que soit la stratégie choisie, mais permet une augmentation de capacité du dépôt et une réduction considérable du fardeau, et devrait permettre une meilleure adhésion du public.
- La séparation-transmutation peut être appliquée à des stratégies du cycle du combustible très diverses.
- Les réacteurs rapides critiques sont l'outil le mieux adapté et le plus souple pour mettre en œuvre la séparation-transmutation. Il faut voir dans les systèmes hybrides une option ou une solution complémentaire.
- La démonstration de la séparation-transmutation implique une démonstration expérimentale, dépassant l'échelle du laboratoire, de l'ensemble des composantes de la stratégie : combustibles adaptés, techniques de retraitement adaptées, comportement du réacteur lorsqu'il est chargé avec des quantités importantes d'actinides mineurs.
- La mise en œuvre de la séparation-transmutation pourrait bénéficier d'une approche « régionale » du cycle du combustible.
- La transmutation des produits de fission à vie longue est discutable. Néanmoins, une gestion appropriée du césium-137 et du strontium-90 pourrait avoir une incidence importante sur les performances des dépôts géologiques. ■

Références

1. Salvatores, M. *et al* (2004), "The Physics of TRU Transmutation – A Systematic Approach to the Inter-comparison of Systems", Proc. Int. Conf. PHYSOR 2004, Chicago, 25-29 avril 2004.
2. Salvatores, M. *et al* (2004), "P&T Potential for Waste Minimization in a Regional Context", 8th International Exchange Meeting on P&T, Las Vegas, novembre 2004.
3. Warin, D. (2006), "An Integrated Approach to Partitioning, Challenges Left on the Way Towards Industrial Application", Proc. FISA Int. Conf., Luxembourg, mars 2006.
4. AEN (2006), *Advanced Nuclear Fuel Cycles and Waste Management*, OCDE, Paris.
5. AEN (2006), *Physics and Safety of Transmutation Systems: A Status Report*, OCDE/AEN, Paris.

Le Système international d'information sur la radioexposition professionnelle (ISOE)

B. Ahier *

L'Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire (AEN) s'intéresse depuis de nombreuses années aux questions ayant trait à la protection radiologique des travailleurs sous rayonnement. Face aux pressions exercées par la libéralisation du marché et la compétitivité ainsi que par le vieillissement du parc mondial de centrales nucléaires, le personnel de radioprotection dans les centrales nucléaires du monde entier s'est rendu compte que la meilleure manière de gérer les expositions professionnelles consistait à planifier, exécuter et contrôler les tâches en s'assurant que les expositions restent à un niveau aussi bas que raisonnablement possible (ALARA). L'échange régulier, entre les acteurs concernés, de données et d'informations sur la réduction des doses est une condition préalable à l'application de ce principe d'optimisation à la protection radiologique du personnel.

Pour faciliter cette approche globale de la gestion du travail, l'AEN a créé, en 1992, le Système d'information sur la radioexposition professionnelle (ISOE), programme mené conjointement par les pays intéressés par l'échange d'informations techniques dans ce domaine. L'objectif d'ISOE est d'offrir la possibilité aux experts de la radioprotection des compagnies d'électricité et des autorités

« ...l'échange et l'analyse d'informations sur les doses individuelles et collectives de rayonnement reçues par le personnel des installations nucléaires et les employés des entreprises sous-traitantes, ainsi que sur les techniques de réduction des doses, sont indispensables pour mettre en œuvre des programmes efficaces de contrôle des doses et pour appliquer le principe ALARA... »

Conditions de mise en œuvre du Système international d'information sur la radioexposition professionnelle (2004)

nationales de sûreté d'examiner et de coordonner, dans un cadre international, des initiatives de coopération internationale en vue d'assurer la radioprotection des personnels travaillant dans les centrales nucléaires. Depuis 1993, l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) co-parraine le programme ISOE, ce qui permet aux compagnies d'électricité et aux autorités de pays non membres de l'AEN d'y prendre part ; l'AEN et l'AIEA ont créé en 1997, un secrétariat commun du programme.

En tant que programme d'échange d'informations techniques, ISOE comporte un réseau mondial de collecte et d'analyse de données de radioexposition, se distinguant par la plus grande base de données du monde sur la radioexposition professionnelle dans les centrales nucléaires, ainsi qu'un programme très important d'échange d'informations et d'expériences sur la réduction des

*M. Brian Ahier (brian.ahier@oecd.org) travaille dans la Division de la protection radiologique et de la gestion des déchets radioactifs de l'AEN.

doses. Depuis sa création, les membres d'ISOE ont mis à profit ce double système pour se communiquer des informations et des données de radioexpositions professionnelles, qui sont utilisées dans les analyses des profils de doses, les comparaisons de techniques et les analyses coûts-avantages ainsi que toutes autres formes d'analyses facilitant l'application du principe ALARA dans les programmes locaux de radioprotection.

Participation à ISOE

Depuis 1992, le nombre des centrales nucléaires exploitées participant activement au programme ISOE n'a cessé d'augmenter, à mesure que la notoriété de ce programme augmentait. Au 31 décembre 2005, 71 compagnies d'électricité (332 réacteurs en exploitation ; 39 tranches arrêtées) de 29 pays ainsi que des autorités de 25 pays étaient affiliées à ce programme. Les quatre Centres techniques d'ISOE (Europe, Amérique du Nord, Asie et AIEA)¹ gèrent les opérations techniques au quotidien, se chargeant de la collecte des données, des analyses de données et du soutien technique aux participants.

Produits et services du programme ISOE

ISOE tire sa valeur exceptionnelle du fait que ce programme allie un vaste ensemble cohérent de données mondiales sur les doses professionnelles, d'expériences de réduction de doses, d'analyses, d'échanges d'information et la capacité de rassembler au sein d'une même structure des compagnies d'électricité et des autorités de sûreté. Le programme ISOE offre une large gamme de produits dans le domaine de la radioexposition professionnelle, dont un certain nombre sont décrits ci-dessous.

Base de données sur la radioexposition professionnelle

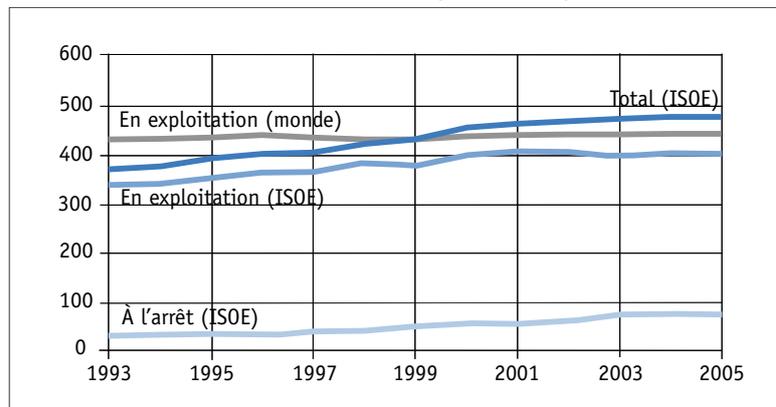
ISOE tient à jour la plus vaste base de données du monde sur la radioexposition professionnelle dans les centrales nucléaires. Les données collectées chaque année auprès des participants sont mises à la disposition des membres d'ISOE par l'intermédiaire de la base de données. Parallèlement aux données détaillées transmises directement par les

exploitants participant au programme, des données nationales officielles sont aussi communiquées par les autorités de sûreté qui y participent pour ceux de leurs exploitants qui ne sont pas encore membres d'ISOE. La base de données d'ISOE contient donc des informations sur les niveaux de radioexposition professionnelle et leur évolution dans 478 tranches (402 réacteurs en exploitation ; 76 à l'arrêt ou en cours de démantèlement) de 29 pays, soit approximativement 91 % des réacteurs de puissance exploités dans le monde. Les plus gros ensembles de réacteurs qui ne sont pas encore intégrés à la base de données se trouvent dans la Fédération de Russie et en Inde.

La base de données ISOE est subdivisée en quatre parties comportant :

- des données dosimétriques pour les réacteurs en exploitation, par exemple la dose collective annuelle dans les conditions normales d'exploitation, durant les opérations de maintenance,

Figure 1 : Nombre de tranches représentées dans la base de données ISOE (1993-2005)



durant les arrêts pour rechargement, durant les périodes d'arrêt non programmé, et les doses collectives annuelles pour certaines tâches et catégories de travailleurs ;

- des informations sur les caractéristiques des installations pertinentes pour la réduction des doses, comme les substances radioactives, la chimie de l'eau, les procédures de démarrage/d'arrêt, les programmes de réduction du cobalt, etc. ;
- des informations de radioprotection associées à des opérations, procédures, équipements ou tâches spécifiques, comme la réduction effective des doses, la décontamination effective et la

mise en œuvre des principes de gestion du travail ;

- des données dosimétriques pour les tranches qui sont à l'arrêt ou en cours de démantèlement.

Cette base de données contient un module d'analyse des données permettant aux responsables de la radioprotection de réaliser diverses analyses comparatives et constitue une base solide pour les études sur les doses associées à certaines activités et tâches exécutées dans une centrale nucléaire, comme le rechargement ou les travaux d'isolation. Grâce à cette base de données ISOE, des profils d'exposition peuvent être affichés par pays, par type de réacteurs ou selon d'autres critères, par exemple les groupes de tranches identiques.

Rapports annuels d'ISOE

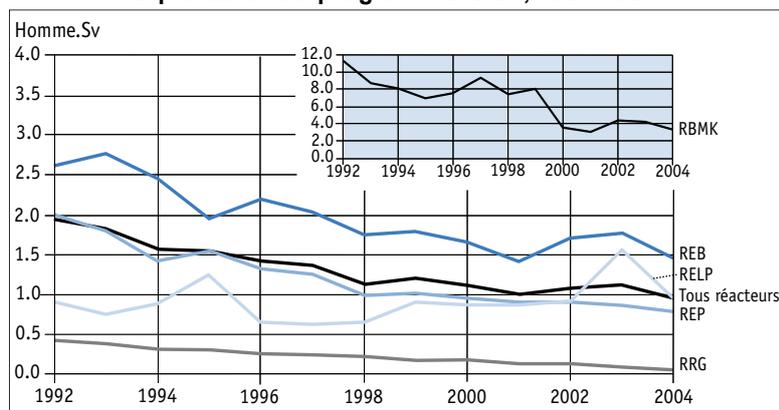
Les rapports annuels d'ISOE résument les informations récentes sur les niveaux et l'évolution

Études, analyses et informations détaillées

Les membres du programme ISOE s'appuient, pour s'acquitter de leurs responsabilités courantes de radioprotection, sur les travaux des quatre Centres techniques d'ISOE. Ces centres fournissent des études, analyses et informations détaillées sur les problèmes actuels que soulève la radioprotection opérationnelle. Les données dosimétriques et autres informations sur les centrales qui sont transmises par les participants constituent une base idéale pour les études sur les doses et l'évolution des doses reçues dans le cadre d'activités et de tâches spécifiques, comme le rechargement, le remplacement des générateurs de vapeur, les travaux d'isolation, etc. Les études entreprises par les Centres techniques sont diffusées aux membres du programme ISOE sous forme de fichiers d'information ISOE. Récemment, des fichiers d'information de ce type ont porté sur des sujets aussi variés que les résultats dosimétriques régionaux, l'évolution de la durée

des arrêts et des enquêtes sur les pratiques en matière de gestion de la contamination interne. L'aide fournie par ces centres en réponse à des demandes particulières d'informations techniques rapides et l'organisation de visites comparatives sur le terrain pour l'échange d'informations sur la réduction des doses entre les Centres techniques revêtent une importance particulière. Ce dernier point joue un rôle déterminant en facilitant l'échange d'informations pratiques entre régions du programme ISOE.

Figure 2 : Dose collective moyenne pour les réacteurs en exploitation du programme ISOE, 1992-2004



des doses collectives annuelles moyennes dans les réacteurs enregistrés dans la base de données et présentent des analyses spéciales de données et des études de doses réalisées par le Groupe de travail d'ISOE sur l'évaluation des données, des résumés de symposiums ISOE ainsi que des informations sur les principaux événements intervenus dans les pays participants. La figure 2, présentée dans le 14^{ème} Rapport annuel du Programme ISOE pour 2004, montre l'évolution générale de la dose collective moyenne par réacteur en exploitation de 1992 à 2004. Les rapports annuels peuvent être consultés par toute personne intéressée sur le site Internet de l'AEN (voir précisions dans les références).

Réseau d'échange d'informations

Même si ISOE est très connu pour ses données et analyses sur la radioexposition professionnelle, le principal atout de ce programme vient de son objectif premier, qui est de partager largement ces informations entre ses participants. Ce vaste échange d'informations permet de tirer plus aisément des leçons de l'expérience acquise, de développer et d'optimiser les compétences et d'augmenter la valeur de la participation.

Le réseau d'échange d'informations d'ISOE comprend de nombreuses composantes diverses, tant techniques que sociales. D'un point de vue technique, ISOE comporte un système de communication rapide des informations de radioprotection par le biais d'un réseau d'information sur Internet

et d'une messagerie électronique. Le réseau ISOE a pour objectif de mettre à la disposition de ses membres un portail centralisé d'échange d'expériences et d'informations ISOE/ALARA sur la réduction des doses et les ressources ALARA. Ce portail Internet à accès restreint permet aux membres d'accéder en ligne aux produits et publications ISOE, à des forums sur Internet permettant aux participants de communiquer en temps réel et à la vaste base de données sur les radioexpositions professionnelles d'ISOE (que les membres ne pouvaient précédemment consulter que sur CD-ROM).

Les contacts humains restent également une composante importante du réseau de communication, comme le prouve le Symposium international ALARA organisé chaque année sur la gestion des radioexpositions professionnelles dans les centrales nucléaires. Organisés par les Centres techniques, ces symposiums, ouverts à tous, ont pour objectif de donner à des professionnels de la radioprotection, de l'industrie nucléaire et des autorités de sûreté, la possibilité d'échanger des informations et des expériences pratiques sur les questions de radioexposition professionnelle dans les centrales nucléaires. Les Centres techniques organisent également des symposiums régionaux sur des sujets répondant aux besoins régionaux. Grâce à l'organisation conjuguée de symposiums ISOE ALARA régionaux et internationaux, les professionnels de la radioprotection peuvent se réunir pour examiner et partager des informations ainsi qu'établir des liens et créer des synergies entre les régions ISOE, qui faciliteront l'élaboration d'une approche mondiale de la gestion du travail. Enfin, le programme ISOE produit, à intervalles réguliers, un bulletin ISOE pour informer ses membres sur des thèmes qui intéressent l'ensemble de la communauté ISOE.

Prochaines étapes pour le programme ISOE

Au terme d'une quinzaine d'années d'expérience de la radioprotection opérationnelle, le programme ISOE a entamé un examen stratégique de son fonctionnement afin de favoriser son utilisation et optimiser sa valeur pour les participants. C'est l'alliance d'une vaste base d'informations techniques, d'un réseau de communications et de la participation de compagnies d'électricité et d'autorités de sûreté qui fait la force d'ISOE. Afin de mettre à profit ces atouts, le programme ISOE poursuivra ses activités principales de collecte et d'analyse des données de radioexposition professionnelle et continuera de servir de cadre permettant aux compagnies et aux autorités de sûreté qui participent au programme d'échanger leurs expériences et leurs pratiques exemplaires dans le domaine de la réduction des

radioexpositions professionnelles dans les centrales nucléaires. En outre, le programme procédera à des améliorations pour mieux répondre aux besoins de ses utilisateurs, mis en évidence par une analyse stratégique du programme et la remontée directe d'informations de ceux-ci. Les améliorations seront apportées en s'attachant tout particulièrement aux besoins identifiés, à l'échange d'informations et à des aspects organisationnels.

Le programme ISOE a démontré sa capacité d'aider les radioprotectionnistes travaillant dans les compagnies d'électricité et les autorités de sûreté à mieux gérer les radioexpositions professionnelles dans les centrales nucléaires. Il a l'intention, dans le cadre de son prochain mandat de quatre ans, de continuer à mettre à profit ses atouts actuels pour devenir une source d'information et un réseau de communication de premier choix pour la communauté des spécialistes de la radioprotection professionnelle. ■

Note

1. Les Centres techniques d'ISOE sont, dans la région Asie : le Centre technique asiatique, l'Organisme de sûreté nucléaire du Japon (Japon) ; dans la région Europe : le Centre technique européen, le CEPN (France) ; dans la région nord-américaine : le Centre technique nord-américain (États-Unis) ; dans les pays non membres de l'AEN : le Centre technique AIEA, l'Agence internationale de l'énergie atomique (Autriche).

Références

On trouvera des informations complémentaires sur le Système international d'information sur la radioexposition professionnelle AEN/AIEA sur www.nea.fr/html/jointproj/iso.html et www.isoe-network.net.

Nouvelles brèves

Blindage des accélérateurs, des cibles et des installations d'irradiation (SATIF)

Les accélérateurs de particules sont des machines ou des instruments dont l'importance pour la recherche scientifique et l'industrie va croissant. Il en existe aujourd'hui près de 20 000 dans le monde employés pour des applications industrielles diverses – implantation ionique, modification des surfaces, des recherches en physique nucléaire et en physique des particules ainsi que dans d'autres domaines que le nucléaire, la radio-thérapie, l'hadron-thérapie, la production d'isotopes à usage médical – et en tant que sources de rayonnement synchrotron. Les scientifiques comme les techniciens, l'équipement et les matériaux doivent être protégés des champs de rayonnements intenses. C'est pourquoi, on a besoin de caractériser les champs de rayonnements à proximité des accélérateurs d'électrons, de protons et d'ions ainsi que des sources de spallation par les méthodes de modélisation les plus modernes. Divers types d'installations sont étudiés dans ce contexte : installations produisant un rayonnement synchrotron ou un rayonnement à très forte énergie ou lasers à électrons libres.

Conscient de l'importance des travaux scientifiques et techniques dans ce domaine, le Comité des sciences nucléaires de l'AEN a constitué le groupe d'experts SATIF chargé d'étudier les multiples aspects de la modélisation et de la conception de systèmes de blindage des accélérateurs. Ce groupe a pour mandat de favoriser les échanges d'information entre spécialistes, d'identifier les domaines susceptibles de bénéficier d'une collaboration internationale et de mener à bien un programme de travail pour favoriser des avancées sur certains axes prioritaires. À cet effet, il organise des ateliers internationaux qui, pour optimiser les collaborations, sont organisés dans des centres de recherches avancées dotés de grands accélérateurs, par exemple, le CERN à Genève, le SLAC à Stanford, le CYRIC à Sendai et le PAL à Postech.

Parmi les travaux du groupe d'experts SATIF on retiendra l'évaluation des besoins de données expérimentales pour la validation des modèles et des codes, l'organisation d'expériences de protection,



Expériences de protection radiologique à l'HIMAC au Japon.

la collecte et la compilation de jeux de données expérimentales, l'évaluation des modèles et de codes, des paramétrisations et des techniques employées pour concevoir le blindage des accélérateurs, l'organisation et la publication des résultats d'exercices de comparaison internationaux. Les actes des ateliers contiennent une mine d'informations de première importance pour les spécialistes des blindages d'accélérateurs. À ce jour, sept volumes ont été publiés et un huitième est prévu pour la fin de 2006. Le dernier volume paru est consacré aux actes de l'atelier SATIF-7 : *Shielding Aspects of Accelerators, Targets and Irradiation Facilities* (ISBN 92-64-01042-4), qui s'est tenu les 17 et 18 mai 2004 à Sacavem, près de Lisbonne au Portugal. Signalons également que les travaux entrepris sur la protection contre les rayonnements pour diverses applications ont été l'un des principaux moteurs du développement des codes de calcul Monte Carlo avancés qui sont employés aujourd'hui.

Le travail accompli par le groupe SATIF intéresse également d'autres groupes d'experts et comités de l'AEN, en particulier ceux qui s'occupent de protection radiologique et de santé publique, de dosimétrie des rayonnements, de gestion des déchets radioactifs et de démantèlement. Il est utilisé aussi pour la production des données d'interaction des particules qui sont nécessaires pour de multiples applications scientifiques et industrielles. ■

Nouvelles publications



Intérêt général

Rapport annuel 2005

ISBN 92-64-02290-2 Gratuit : versions papier ou web.

Aspects économiques et techniques du cycle du combustible nucléaire

La R-D en France sur la séparation et la transmutation des radionucléides à vie longue

Une expertise internationale du rapport du CEA de 2005

ISBN 92-64-02297-X Gratuit : versions papier ou web.

Pour une grande partie de la classe politique et de la population, la très longue durée de vie de certains radionucléides contenus dans les déchets radioactifs pose un problème difficile pour le stockage définitif de ces déchets. Les techniques de séparation et de transmutation qui voient le jour aujourd'hui promettent d'éliminer ou, en tout cas, de diminuer fortement les éléments radioactifs à vie longue, avec en outre d'autres avantages techniques. La séparation consiste à isoler certains éléments radioactifs, la transmutation à les ré-irradier pour les transformer en éléments à vie plus courte ou en éléments stables.

La loi sur les déchets adoptée en France en 1991 impose notamment l'exécution d'un programme de recherche et de développement sur la séparation et la transmutation et la présentation en 2006 du bilan de ces recherches. Les autorités françaises ont demandé à l'OCDE/AEN de procéder à une expertise internationale indépendante des résultats de cet

important programme de recherches afin d'éclairer le processus de décision parlementaire sur la voie à suivre pour la gestion des déchets radioactifs en France. Le présent rapport rend compte des résultats de l'expertise ainsi menée par dix des meilleurs spécialistes au monde dans ce domaine.

Données sur l'énergie nucléaire : Édition 2006

ISBN 92-64-02489-1 Prix : € 30, \$ 40, £ 21, ¥ 4 100.

L'année 2005 a été marquée par une intense activité dans le secteur nucléaire. De nombreux pays membres de l'OCDE manifestent un intérêt de plus en plus vif pour l'énergie nucléaire, qui se traduit par la construction de nouvelles centrales, des plans pour des installations futures, ainsi que des innovations visant l'enrichissement et le retraitement. Toutes ces informations et d'autres aperçus figurent dans les *Données sur l'énergie nucléaire*, publication annuelle de l'Agence pour l'énergie nucléaire qui présente les données statistiques essentielles sur le nucléaire dans les pays de l'OCDE jusqu'en 2025. Cet ouvrage offre au lecteur un tour d'horizon complet et facile à consulter de la situation et des tendances dans les divers secteurs du cycle du combustible nucléaire.

Sûreté et réglementation nucléaires

L'utilisation du retour d'expérience : défis pour les autorités de sûreté nucléaire

ISBN 92-64-01087-4 Gratuit : versions papier ou web.

La raison d'être des autorités de sûreté est de faire en sorte que les compagnies d'électricité exploitent leurs centrales nucléaires à tout moment de manière sûre. Pour atteindre cet objectif, l'expérience et ses enseignements se sont révélés précieux. Il est donc très important que tout exploitant nucléaire se dote d'un programme dynamique pour recueillir le retour d'expérience, analyser les informations intéressantes la sûreté de ses centrales et prendre les mesures que dicte cette analyse.

Les experts de l'AEN ont constaté que la quasi-totalité des événements significatifs récents signalés lors de réunions internationales s'étaient déjà produits sous une forme ou sous une autre. Les contre-mesures sont généralement bien connues, mais l'information ne semble pas toujours parvenir aux utilisateurs finals, de même que les programmes d'actions correctrices ne sont pas toujours rigoureusement appliqués. Par conséquent, si l'on veut préserver l'excellent niveau de sûreté en exploitation obtenu à ce jour, il faut veiller à ce que le retour d'expérience soit communiqué sans délai aux systèmes établis de notification des événements, de préférence internationaux, pour que chacun puisse bénéficier d'une plus vaste expérience et que les enseignements qui en seront tirés soient effectivement exploités pour améliorer la sûreté.

Le présent rapport s'intéresse aux moyens dont disposent les autorités de sûreté pour s'assurer que le retour d'expérience est efficacement exploité pour améliorer la sûreté des centrales nucléaires. Bien que focalisé sur les centrales nucléaires, il énonce des principes qui s'appliquent également à d'autres installations nucléaires.

Building, Measuring and Improving Public Confidence in the Nuclear Regulator ^{vo}

Workshop Proceedings, Ottawa, Canada
18-20 May 2004

ISBN 92-64-02590-1 Prix : € 47, US\$ 59, £ 32, ¥ 6 500.

An important factor for public confidence in the nuclear regulator is the general public trust of the government and its representatives, which is clearly not the same in all countries. Likewise, cultural differences between countries can be considerable, and similar means of communication between government authorities and the public may not be universally effective.

Nevertheless, this workshop identified a number of common principles for the communication of nuclear regulatory decisions that can be recommended to all regulators. They have been cited in particular for their ability to help build, measure and/or improve overall public confidence in the nuclear regulator.

Nuclear Power Plant Operating Experiences from the IAEA/NEA Incident Reporting System ^{vo}

2002-2005

ISBN 92-64-02294-5 Gratuit : versions papier ou web.

The Incident Reporting System (IRS) is an essential element of the international operating experience feedback system for nuclear power plants. The IRS is jointly operated and managed by the Nuclear Energy Agency (NEA), a semi-autonomous body within the Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), and the International Atomic Energy Agency (IAEA), a specialised agency within the United Nations system.

Radioprotection

Le processus d'autorisation réglementaire

Rapport du Groupe d'experts du CRPPH sur l'application réglementaire de l'autorisation (EGRA)

ISBN 92-64-01079-3 Gratuit : versions papier ou web.

Les pouvoirs publics et les autorités réglementaires sont chargés de définir les contrôles ou conditions

réglementaires à imposer, le cas échéant, aux sources et situations d'exposition aux rayonnements pour protéger le public, les travailleurs et l'environnement. Si les politiques et démarches suivies pour s'acquitter de cette tâche varient suivant les pays, en général les recommandations de la Commission internationale de protection radiologique (CIPR) servent à définir au moins partiellement les fondements de la protection. Jusqu'à présent, la CIPR recommandait des méthodes variables de protection. Les nouvelles recommandations de la CIPR proposent une méthode unique,

simple et cohérente pour définir le niveau de protection appropriée en toutes circonstances. Tandis que la CIPR passait en revue les grands principes de la protection, le Comité de protection radiologique et de santé publique (CRPPH) de l'AEN faisait porter sa réflexion sur la façon dont on pouvait améliorer la mise en œuvre de la protection radiologique par les pouvoirs publics ou les autorités réglementaires. À cette fin, le CRPPH a mis au point un concept, « le processus d'autorisation réglementaire », que l'on trouvera décrit de façon détaillée dans ce rapport. Ce processus devrait aider les autorités réglementaires à appliquer les recommandations générales de la CIPR de façon plus transparente, cohérente et simple dans leur travail concret de réglementation et de mise en œuvre de la protection radiologique. Dans cette

démarche, le CRPPH reconnaît l'importance d'un niveau approprié de concertation des parties prenantes.

Occupational Exposures at Nuclear Power Plants – 2004 ^{vo}

Fourteenth Annual Report on the ISOE Programme, 2004

ISBN 92-64-02292-9 *Gratuit : versions papier ou web.*

The Fourteenth Annual Report of the ISOE Programme summarises achievements made during 2004 and compares annual occupational exposure data. Principal developments in ISOE participating countries are also described.

Gestion des déchets radioactifs

Comprendre les attentes de la société dans la gestion des déchets radioactifs et s'y adapter

Enseignements principaux et expériences du Forum sur la confiance des parties prenantes

ISBN 92-64-01080-7 *Gratuit : versions papier ou web.*

Ce rapport présente une synthèse des enseignements tirés par le Forum de l'AEN sur la confiance des parties prenantes (FSC) concernant la gouvernance de la gestion à long terme des déchets radioactifs. La plupart des conclusions s'appliquent à tout processus public d'élaboration de politiques, et ne se limitent pas à la gestion des déchets radioactifs. En ce sens, ce rapport peut servir d'initiation aux problèmes concrets de gouvernance que pose toute décision complexe impliquant la collectivité.

Disposal of Radioactive Waste: Forming a New Approach in Germany ^{vo}

FSC Workshop Proceedings, Hitzacker and Hamburg, Germany, 5-8 October 2004

ISBN 92-64-02439-5 *Prix : € 30, US\$ 38, £ 20, ¥ 4 200.*

These proceedings provide a historical introduction to radioactive waste management in Germany, give a detailed summary of the workshop presentations and discussions that took place, and also provide the NEA Secretariat's reflections which help place the main lessons of the workshop into a wider perspective. Five presentations – the three keynote papers and the two thematic reports – are also reproduced herein.

Sciences nucléaires et Banque de données

Besoins de R-D pour les systèmes nucléaires actuels et futurs

ISBN 92-64-02291-0 *Gratuit : versions papier ou web.*

Des capacités de recherche et l'expertise technique dans le domaine des sciences nucléaires sont nécessaires pour maintenir un niveau élevé de performance et de sûreté des installations nucléaires actuelles ainsi que pour développer les programmes électronucléaires de la prochaine génération.

Le Comité des sciences nucléaires (CSN) de l'AEN a réalisé une étude sur les futurs besoins de recherche

et développement dans des domaines spécifiques des sciences nucléaires : les données nucléaires, la physique des réacteurs et le comportement des systèmes, et enfin les combustibles, matériaux et caloporteurs des réacteurs.

Ce rapport comporte des informations sur les activités internationales de R-D passées et actuelles, réalisées sous l'égide du CSN, et sur les besoins en R-D des nouveaux systèmes nucléaires dans les différents pays membres de l'AEN. Des recommandations sur les travaux à effectuer dans les domaines mentionnés ci-dessus sont également présentées. Les éventuelles actions de suivi à ces recommandations seront étudiées par le CSN.

Benchmark on the KRITZ-2 LEU and MOX Critical Experiments

Final Report

ISBN 92-64-02298-8 *Gratuit : versions papier ou web.*

The plutonium produced during the operation of commercial nuclear power plants or that has become available from the dismantlement of nuclear weapons needs to be properly managed. One important contribution to the management process consists in validating the calculation methods and nuclear data used for the prediction of power in systems using mixed-oxide (MOX) fuel. A series of computational physics benchmarks and issues regarding multiple recycling in various MOX-fuelled systems have been studied and published by the NEA. This has led to improvements in the nuclear data libraries and calculation methods. Full validation requires comparing those findings with data from experiments. The experiment at the KRITZ research reactor in Sweden is being used for this purpose.

This report provides an analysis of the 12 sets of results supplied by 16 experts from 7 countries, together with the comparison against the KRITZ evaluated experimental data. The report concludes that the computer codes and cross-sections used by the participants, which are presently in widespread use, can adequately predict the multiplication factor and pin-power distributions of the MOX cores.

Computer Simulation of MASURCA Critical and Subcritical Experiments

MUSE-4 Benchmark – Final Report

ISBN 92-64-01086-6 *Gratuit : versions papier ou web.*

International interest in accelerator-driven systems (ADS) has been expressed due to their potential use in the transmutation of minor actinides. However, much R&D work is still required in order to demonstrate the desired capability of the system as a whole, and the current methods of analysis and nuclear data for minor actinide burners are not as well established as those for conventionally fuelled systems.

A series of theoretical ADS physics benchmarks has thus been organised by the NEA. Many improvements and clarifications in nuclear data and calculation methods have been achieved. However, following an initial series of benchmarks, some significant discrepancies in important parameters were not fully understood and still required clarification. Hence, the first experiment-based benchmark using MASURCA critical and subcritical experiments (called MUSE-4 experiments) was launched.

This report provides an analysis of the benchmark results supplied by 16 institutions from 14 countries. The calculated results were compared against experi-

mental data, whenever available. This report will be of particular interest to reactor physicists and nuclear data evaluators developing nuclear systems, especially ADS, for radioactive waste management.

NUPEC BWR Full-size Fine-mesh Bundle Test (BFBT) Benchmark

Volume I: Specifications

ISBN 92-64-01088-2 *Gratuit : versions papier ou web.*

This report describes the specification of an international benchmark based on high-quality fine-mesh data, released through the government of Japan and the Nuclear Power Engineering Corporation (NUPEC), with the aim of advancing the insufficiently developed field of two-phase flow theory. It has been designed for systematically assessing and comparing different numerical models used for predicting detailed void distributions and critical powers.

Additional volumes concerning this benchmark are planned and are intended to show to what extent the most recent approaches are capable of predicting two-phase flow phenomena.

PENELOPE-2006: A Code System for Monte Carlo Simulation of Electron and Photon Transport

Workshop Proceedings, Barcelona, Spain
4-6 July 2006

ISBN 92-64-02301-1 *Gratuit : versions papier ou web.*

Radiation is used in many applications of modern technology. However, its proper handling requires competent knowledge of the basic physical laws governing its interaction with matter. To ensure its safe use, appropriate tools for predicting radiation fields and doses, as well as pertinent regulations, are required.

One area of radiation physics that has received much attention concerns electron-photon transport in matter. PENELOPE is a modern, general-purpose Monte Carlo tool for simulating the transport of electrons and photons, which is applicable for arbitrary materials and in a wide energy range. PENELOPE provides quantitative guidance for many practical situations and techniques, including electron and X-ray spectroscopies, electron microscopy and microanalysis, biophysics, dosimetry, medical diagnostics and radiotherapy, and radiation damage and shielding.

These proceedings contain the extensively revised teaching notes of the latest workshop/training course on PENELOPE (version 2006), along with a detailed description of the improved physics models, numerical algorithms and structure of the code system.

Physics and Safety of Transmutation Systems ^{vo}

A Status Report

ISBN 92-64-01082-3 *Gratuit : versions papier ou web.*

The safe and efficient management of spent fuel from the operation of commercial nuclear power plants is an important issue. Worldwide, more than 250 000 tons of spent fuel from currently operating reactors will require disposal. These numbers account for only high-level radioactive waste generated by present-day power reactors.

Nearly all issues related to risks to future generations arising from the long-term disposal of such spent nuclear fuel is attributable to only about 1% of its content. This 1% is made up primarily of plutonium, neptunium, americium and curium (called transuranic elements) and the long-lived isotopes of iodine and technetium. When transuranics are removed from discharged fuel destined for disposal, the toxic nature of the spent fuel drops below that of natural uranium ore (that which was originally mined for the nuclear fuel) within a period of several hundred to a thousand years. This significantly reduces the burden on geological repositories and the problem of addressing the remaining long-term residues can thus be done in controlled environments having timescales of centuries rather than millennia stretching beyond 10 000 years.

Transmutation is one of the means being explored to address the disposal of transuranic elements. To achieve this, advanced reactor systems, appropriate fuels, separation techniques and associated fuel cycle strategies are required.

This status report begins by providing a clear definition of partitioning and transmutation (P&T), and then describes the state of the art concerning the challenges facing the implementation of P&T, scenario studies and specific issues related to accelerator-driven systems (ADS) dynamics and safety, long-lived fission product transmutation and the impact of nuclear data uncertainty on transmutation system design. The report will be of particular interest to nuclear scientists working on P&T issues as well as advanced fuel cycles in general.

VENUS-2 MOX-fuelled Reactor Dosimetry Calculations ^{vo}

Final Report

ISBN 92-64-01084-X *Gratuit : versions papier ou web.*

It is essential to calculate the structural integrity of reactor components with a high degree of accuracy in order to make correct decisions regarding plant lifetime at the design stage, safety margins and potential plant life extensions. The OECD Nuclear Energy Agency (NEA) is therefore organising a series of benchmarks to verify the current international

level of accuracy in pressure vessel fluence calculations and to clarify the relative merits of various methodologies. By extension, this enables the identification of areas for possible improvements in the various calculation schemes.

As a follow-up to the previous UO₂-fuelled VENUS-1 two-dimensional (2-D) and VENUS-3 three-dimensional (3-D) benchmarks, and given that many commercial nuclear power plants in Europe and in Japan use MOX fuel and that the use of MOX fuel in LWRs presents different neutron characteristics, the present benchmark was launched in 2004 using the measured data of the VENUS-2 MOX-fuelled critical experiments. This report provides an analysis of the results supplied by 12 participants from 7 countries. The results have revealed that the computer codes and nuclear data currently used for MOX-fuelled systems in OECD/NEA member countries appear able to produce results with a sufficiently high level of accuracy in dosimetry calculations. This report will be of particular interest not only to reactor physicists and nuclear data evaluators, but also to nuclear utilities.

VVER-1000 Coolant Transient Benchmark ^{vo}

Phase 1 (V1000CT-1), Volume 2: Summary Results of Exercise 1 on Point Kinetics Plant Simulation

ISBN 92-64-02295-3 *Gratuit : versions papier ou web.*

In the field of coupled neutronics/thermal-hydraulics computation there is a need to enhance scientific knowledge in order to develop advanced modelling techniques for new nuclear technologies and concepts, as well as current applications.

The present volume, a follow-up to the first volume describing the specification of the benchmark, presents the results of the first exercise that identifies the key parameters and important issues concerning the thermal-hydraulic system modelling of the simulated transient. This exercise aims to achieve the correct initialisation and testing of the system code models. The transient chosen for the exercise is caused by the switching on of a main coolant pump while the other three are in operation. It is based on an experiment that was conducted by Bulgarian and Russian engineers during the plant commissioning phase at the VVER-1000 Kozloduy Unit 6.

VVER-1000 MOX Core Computational Benchmark ^{vo}

Specification and Results

ISBN 92-64-01081-5 *Gratuit : versions papier ou web.*

The United States and the Russian Federation have each agreed to dispose of 34 tonnes of weapons-grade plutonium that are beyond their defence needs. One

effective way to dispose of this plutonium is to convert it into mixed-oxide (MOX) fuel, burn it in a nuclear reactor and use it to produce electricity.

This report describes an international benchmark study that compared the results obtained for six different states in a VVER-1000 reactor core loaded with one-third MOX fuel. This NEA activity contributes to the computer code certification process and to the verification of calculation methods used in the Russian Federation.



vo = existe en anglais seulement.

Où acheter les publications de l'AEN

En Amérique du Nord :

Les Éditions de l'OCDE

c/o Turpin Distribution, The Bleachery, 143 West Street, New Milford, CT 06776, USA
Ligne verte : 1 (800) 456 6323 ; Fax : 1 (860) 350 0039
E-mail : oecdna@turpin-distribution.com

Dans le reste du monde :

Les Éditions de l'OCDE

c/o Turpin Distribution, Stratton Business Park, Pegasus Drive,
Biggleswade, Bedfordshire, SG18 8QB, Royaume-Uni
Tél. : +44 (0) 1767 604960 ; Fax : +44 (0) 1767 601640
E-mail : oecdrow@turpin-distribution.com

Commandes en ligne : www.oecd.org/bookshop

Visualisez les titres de l'OCDE à www.oecd.org/bookshop. Commandez un ouvrage et téléchargez-le au format PDF. Économisez 20 % en n'achetant que le fichier PDF.

Paiement sécurisé par carte bancaire.

Où commander nos publications gratuites

Service des publications de l'AEN

12, boulevard des Îles, F-92130 Issy-les-Moulineaux, France
Tél. : +33 (0) 1 45 24 10 15 – Fax : +33 (0) 1 45 24 11 12
E-mail : neapub@nea.fr – Internet : www.nea.fr

Rapports en ligne : www.nea.fr

Les Éditions de l'OCDE, 2 rue André-Pascal, 75775 PARIS CEDEX 16
Imprimé en France
(68 2006 01 2 P) – ISSN 1605-959X

2006 World Directory of Nuclear Utility Management

Eighteenth Edition - 2006

World Directory of
Nuclear Utility Management

Now Available



The eighteenth edition includes:

- Worldwide plant listings, including operating plants and those under construction
- Addresses and more than 3,000 names of key nuclear utility personnel, both corporate and plant management
- More than a thousand changes from the 2005 edition
- Now available: utility listings on CD-ROM

To order, please contact the American Nuclear Society,
97781 Eagle Way, Chicago, IL 60678-9770, USA
PHONE: +1 708/579-8210 • FAX: +1 708/579-8314
E-MAIL: scook@ans.org • WEB: www.ans.org/store/vc-hndr

American Express, MasterCard, Visa, and Diners Club accepted

\$280 PRINT EDITION ONLY / \$850 PRINT EDITION WITH CD-ROM (PLUS SHIPPING)



2006 World List of Nuclear Power Plants

The 2006 version of the World List of Nuclear Power Plants is now available as a reprint. The 16-page list, updated each year for the March Reference Issue of *Nuclear News*, provides the following data on nuclear plants worldwide:

- Net MWe
 - Type of reactor
 - Construction stage
 - Initial criticality/commercial start dates
 - Reactor and generator suppliers
 - Architect/engineer
 - Constructor

Nuclear News											
World List of Nuclear Power Plants											
Special, Under Construction, or on Order as of December 31, 2005											
A Reprint											
	Net MWe	Reactor Type	Construction Stage	Initial Criticality	Commercial Start	Reactor Supplier	Generator Supplier	Architect/Engineer	Constructor	Operating	Under Construction
Argentina											
Atucha 1 (1974) 1000 MW PWR, Argentinean											
Atucha 2 (1983) 1000 MW PWR, Argentinean											
Atucha 3 (2006) 1000 MW PWR, Argentinean											
Belgium											
Dessel (1985) 1000 MW PWR, Belgian											
Doel 1 (1985) 1000 MW PWR, Belgian											
Doel 2 (1985) 1000 MW PWR, Belgian											
Doel 3 (1985) 1000 MW PWR, Belgian											
Doel 4 (1985) 1000 MW PWR, Belgian											
Brazil											
Angra 1 (1984) 1000 MW PWR, Brazilian											
Angra 2 (1984) 1000 MW PWR, Brazilian											
Angra 3 (2006) 1000 MW PWR, Brazilian											

\$5.00 per copy, plus shipping;
quantity discounts available

American Express, MasterCard,
Visa, and Diners Club accepted

Order from the American Nuclear Society,
97781 Eagle Way, Chicago, IL 60678-9770, USA
PHONE: +1 708/579-8210 - FAX +1 708/579-8314
E-MAIL: scook@ans.org
WEB: www.ans.org/store/vc-item