

# AEN Infos

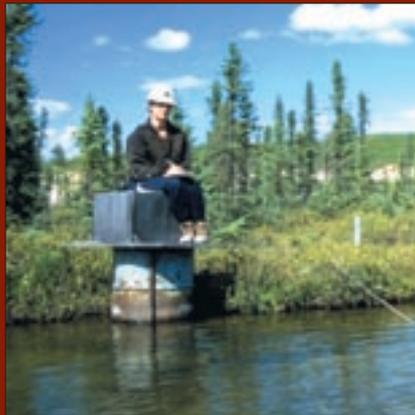
2002 – N° 20.2

## Dans ce numéro :

Comprendre les interactions  
entre société et énergie  
nucléaire

Protection radiologique de  
l'environnement

Ressources en combustible  
nucléaire : pour combien de  
temps ?

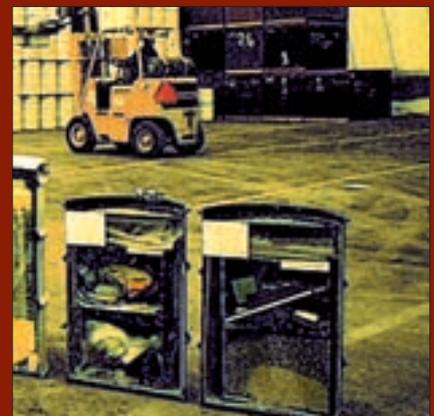
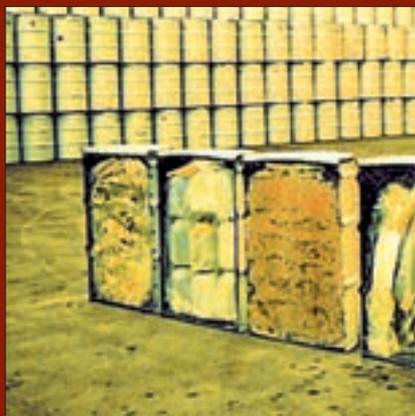


Réacteurs de type avancé :  
questions de sûreté et besoins  
de recherche

Déclassement et démantèlement  
des installations nucléaires

Séparation et transmutation :  
une option à long terme pour  
l'élimination des déchets ?

Les dossiers de sûreté des  
dépôts géologiques profonds



*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) a été créée en 1958 sous le nom d'Agence européenne de l'OECE pour l'énergie nucléaire et n'a pris son appellation actuelle qu'en 1972 lorsque sa composition commença à dépasser les frontières de l'Europe. Son but est de promouvoir la coopération internationale dans le domaine de l'énergie nucléaire, notamment du point de vue de la sûreté, de l'environnement, de l'économie, de la législation et des sciences. 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, le Royaume-Uni, la Suède, la Suisse, la République slovaque, la République tchèque et la Turquie.

Pour plus d'informations sur l'AEN, voir :  
[www.nea.fr](http://www.nea.fr)

*Comité de rédaction :*  
Jacques de la Ferté  
Cynthia Picot

*Production/recherches photographiques :*  
Solange Quarneau  
Annette Meunier

*Mise en page/graphiques :*  
Annette Meunier  
Andrée Pham Van

*Page de couverture :* protection de l'environnement, Rivière McArthur, Canada (Cameco) ; investigations de site d'uranium en Australie (PCN) ; structures internes du réacteur Pégase, France ; bassin de résidus, Key Lake, Canada (Cameco) ; vue transversale de conteneurs de déchets radioactifs, USA (NEI).

## Faits et opinions

**4** Comprendre les interactions entre société et énergie nucléaire

**7** Protection radiologique de l'environnement



## Actualités

**10** Ressources en combustible nucléaire : pour combien de temps ?

**15** Réacteurs de type avancé : questions de sûreté et besoins de recherche

**18** Déclassement et démantèlement des installations nucléaires dans les pays de l'AEN

**21** Séparation et transmutation : une option à long terme pour l'élimination des déchets radioactifs ?

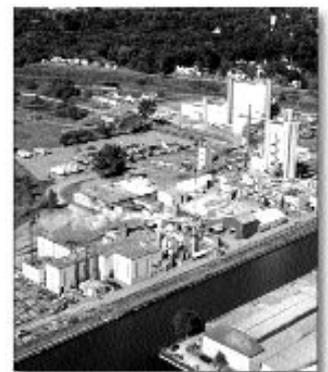
**26** Établissement du dossier de sûreté des dépôts géologiques profonds

## Nouvelles brèves

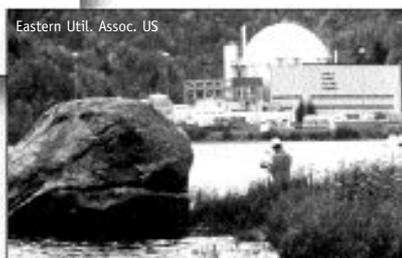
**29** Forum sur la confiance des parties prenantes (FSC)

**31** Le Forum international Génération IV et l'AEN : nouvelles récentes

**32** Nouvelles publications



# éditorial





## Protéger l'homme et l'environnement

*La technologie est au cœur du développement économique, mais elle doit être soigneusement maîtrisée et contrôlée pour être compatible avec les objectifs sociaux et environnementaux du développement durable. La production d'énergie, quelle que soit la source ou la technologie employée, est susceptible d'affecter la santé humaine et l'environnement. C'est pourquoi, tant les chercheurs que les industriels dans le domaine de l'énergie nucléaire s'efforcent en permanence d'apporter des améliorations à ces deux niveaux. Cette constance commence à porter ses fruits dans plusieurs domaines.*

*Grâce aux travaux de la communauté de la protection radiologique, en particulier dans la gestion du travail, la radioexposition des travailleurs a été divisée par deux au cours de la dernière décennie. Des efforts continuent d'être déployés pour améliorer le système global de protection radiologique ; de nombreux acteurs sont engagés, notamment l'AEN, dans la révision des Recommandations de la Commission internationale de protection radiologique (CIPR) de 1990, sur lesquelles sont fondées les réglementations nationales en matière de radioprotection. Des efforts analogues sont mis en œuvre pour mettre au point un système de protection de l'environnement contre les effets nocifs des rayonnements. Jusqu'à présent, on estimait qu'en protégeant les personnes on protégeait en même temps l'environnement. L'article que nous publions en page 7 présente un bref survol de la situation ainsi que des faits marquants intervenus récemment dans ce secteur.*

*Les activités consacrées aux réacteurs nucléaires du futur visent également à renforcer au maximum la protection de l'être humain et de l'environnement. Renforcement des dispositifs de sûreté et réduction de la production de déchets figurent parmi les critères pris en compte par l'AEN dans ses analyses des réacteurs nucléaires avancés (voir page 15) de même que ceux retenus par le Forum international Génération IV (GIF) au cours de sa phase d'organisation récente où six modèles de réacteurs ont été sélectionnés pour l'exécution de travaux plus approfondis de recherche et de développement.*

*La révision de la Convention de Paris sur la responsabilité civile dans le domaine de l'énergie nucléaire a été achevée avec succès en 2002, ce qui a permis une augmentation substantielle des montants disponibles pour indemniser les victimes potentielles et les dommages à l'environnement dans l'hypothèse d'un accident nucléaire. La Convention complémentaire de Bruxelles a également été révisée. Au total, il en résulte une multiplication par un facteur proche de cinq des montants disponibles pour les indemnisations. De plus amples informations sur ces révisions seront présentées dans le prochain numéro de AEN infos.*

Luis E. Echávarri  
Directeur général de l'AEN

# Comprendre les interactions entre société et énergie nucléaire

**Alors que les signes d'un éventuel renouveau de l'énergie nucléaire se font jour dans le monde, il est essentiel de mieux appréhender les opinions de la société civile sur les technologies nucléaires, la manière dont elle perçoit les risques et la façon dont une communication efficace peut être instaurée entre toutes les parties prenantes afin de parvenir à un consensus avant la prise de décision.**

L'énergie nucléaire constitue une importante composante des approvisionnements en électricité dans de nombreux pays. À l'heure actuelle, près du quart de l'électricité consommée dans les pays de l'OCDE est produit par quelque 360 tranches nucléaires en exploitation dans 17 pays membres. De surcroît, plusieurs pays de l'OCDE considèrent que l'énergie nucléaire continuera de jouer un rôle déterminant en atténuant le risque de changement climatique de la planète, en réduisant la pollution locale et, plus généralement, en permettant de moduler le panachage des sources d'énergie de façon à assurer un approvisionnement durable.

Cependant, la mise en œuvre des projets d'énergie nucléaire suscite souvent des préoccupations dans le public, à propos des risques liés au rejet potentiel de radioactivité dans des conditions courantes d'exploitation ou accidentelles, à la gestion et à l'évacuation des déchets radioactifs et à la prolifération des armes nucléaires. Les sociétés démocratiques reconnaissent que ces préoccupations doivent être prises en compte, en particulier en informant et en consultant toutes les parties prenantes et en les associant au processus de décision en vue de la recherche d'un consensus.

Répondre aux préoccupations de la société s'inscrit dans le cadre des objectifs du développement durable. Il est essentiel d'intégrer les dimensions économiques, environnementales et sociales dans les processus de décision afin de réaliser ces objectifs, ce qui exige de faire participer la société civile à certains aspects de l'élaboration de la politique. En conséquence, il est primordial pour les décideurs et gouvernants d'élaborer et de mettre en œuvre de nouvelles démarches et méthodes en vue de faciliter la participation de la société civile tout en maintenant un haut niveau d'efficacité économique.

Dans le secteur de l'énergie nucléaire, l'absence de compréhension et de consensus entre la société civile et les décideurs a conduit à des situations conflictuelles dans certains cas et peut aboutir à des politiques énergétiques et des choix de sources d'approvisionnement qui ne sont pas optimisés du point de vue de la société considérée dans son ensemble. On s'accorde en général à reconnaître qu'une communication améliorée entre parties

*\* M. Koichi Shiraga (mél : koichi.shiraga@oecd.org) est membre de la Division du développement de l'énergie nucléaire de l'AEN.*

prenantes et l'échange d'informations couvrant un large éventail de sujets sont nécessaires, encore que non suffisants, pour favoriser une telle recherche de consensus.

Certains types de problèmes en jeu ne sont toutefois pas propres au secteur de l'énergie nucléaire. Ainsi, la perception des risques et la communication les concernant, de même que l'évolution des processus de décision dans la société contemporaine présentent un intérêt non seulement pour l'analyse des relations entre la société civile et l'énergie nucléaire, mais aussi pour un large éventail de technologies avancées, telles que les biotechnologies.

Les risques constituent un élément intrinsèque et indissociable de la vie et sont reconnus comme tels par la société. Cependant l'acceptation des risques par le public n'est généralement pas objective. Elle s'opère par le biais de perceptions régies par de nombreux facteurs très variables. En définitive, l'approbation ou le rejet d'un projet donné, qui implique l'acceptation par le public de certains risques, dépendra d'un arbitrage complexe entre ses risques et avantages perçus.

Une compréhension du processus d'acceptation des risques et des arbitrages risques-avantages, de même que de toute une série de facteurs en jeu, peut faciliter la mise en place de processus de communication et de prise de décision qui réduisent la disparité existant entre la définition technique du risque et la perception de ce dernier par des profanes. Les publications en la matière ont mis l'accent sur l'importance de la perception du risque et de la communication y afférente. Des travaux supplémentaires dans ce domaine seraient utiles afin de faciliter le dialogue entre les experts, les gouvernants et la société civile à propos des questions d'énergie nucléaire, débouchant en fin de compte sur des processus de décision plus efficaces.

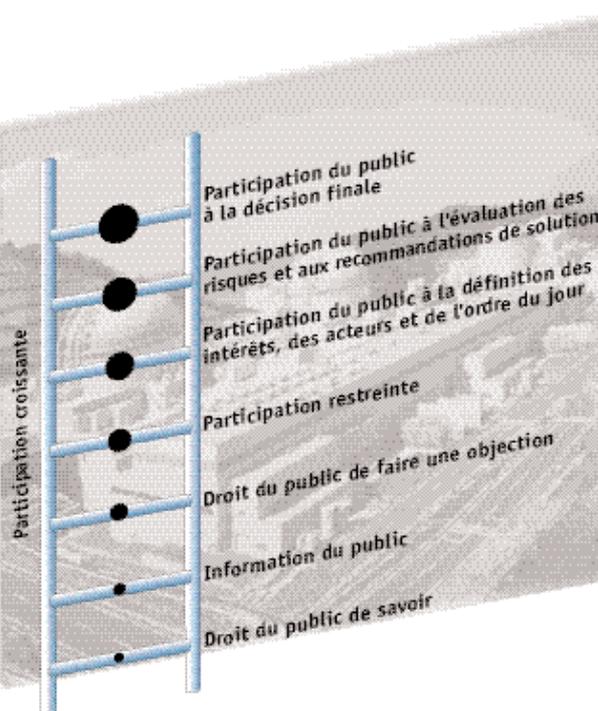
Par le passé, les risques liés à l'énergie nucléaire ont été estimés à l'aide d'une démarche technique et quantitative, appelée évaluation probabiliste des risques, et il est admis que le recours à cette démarche n'a pas été bien accepté par le public. La perception par le public des risques liés à l'énergie nucléaire diffère notablement de l'opinion que les scientifiques ont de ces risques. Les critères subjectifs non scientifiques qui influent sur la perception des risques du nucléaire par le public sont notamment le caractère invisible de la radioactivité, la complexité des technologies nucléaires, les conséquences potentielles de l'absence de contrôle social démocratique sur les projets électronucléaires, et l'aspect catastrophique des accidents

nucléaires. Ces critères peuvent être amplifiés par l'absence de nécessité manifeste et d'avantages directs de l'énergie nucléaire dans les pays où la sécurité des approvisionnements en électricité ne pose pas de problème immédiat.

La nécessité d'une plus grande participation du public dans la prise de décision scientifique et technique est de plus en plus largement reconnue par la communauté scientifique et il est admis que des niveaux plus élevés de participation du public peuvent et doivent être atteints. Le domaine de la participation du public à la prise de décision fait l'objet d'actives recherches et les résultats des travaux en cours devraient contribuer à la conception et à la mise en œuvre de démarches novatrices à l'avenir. L'ouverture de nouveaux processus de décision, par l'intermédiaire, par exemple, de méthodes fondées sur le Web, peut contribuer à faire encore progresser la participation du public. En définitive, cependant, il appartient à chaque pays de décider jusqu'où il convient de laisser le public s'élever sur cette échelle de participation, compte tenu du contexte national spécifique et des opinions des parties prenantes.

L'évaluation de nouvelles méthodes de participation du public devrait prendre en considération

### L'échelle de la participation du public



Adapté à partir de Weidemann et Ferner, 1993 (Photo : Oni NPP, avec la permission de KEPCO, Japon)

à la fois les valeurs ajoutées qualitatives que la délibération publique peut conférer à une décision, et leur potentiel d'accroissement de la légitimité démocratique des décisions. Comme aucune méthode n'est parfaite, il y a souvent un arbitrage à opérer entre la dimension délibérative offerte par certaines méthodes et la capacité représentative d'autres démarches. Certains enseignements tirés de l'expérience passée indiquent qu'il est nécessaire d'instaurer et de maintenir un haut degré de confiance et de transparence dans la sphère publique afin de conférer au processus de participation du public légitimité et traçabilité.

Reconnaissant que plusieurs aspects importants de la prise de décision dans le secteur de l'énergie nucléaire relèvent de la sphère politique, les recherches sur les processus décisionnels apportent, semble-t-il, une contribution directe limitée aux progrès dans ce domaine. Néanmoins, on a défini deux facteurs particuliers qui présentent une réelle pertinence pour les décideurs qui tentent de mieux comprendre les interactions entre la société et le secteur de l'énergie nucléaire en se penchant sur la manière dont les décisions sont prises. Premièrement, les procédures formelles qui reposent sur des concepts élaborés dans les publications consacrées à la recherche décisionnelle, par exemple qui adoptent une méthode multicritères d'aide à la décision, pourraient utilement étayer les décisions complexes qui doivent fréquemment être prises dans le secteur de l'énergie nucléaire. En effet, il est très probable que l'absence d'une telle aide débouche sur une prise de décision sous-optimale dans de nombreuses circonstances. Deuxièmement, il est d'une importance cruciale de comprendre pleinement les jugements intuitifs à l'égard des processus de décision en jeu, y compris dans les cas où il est fait appel à des méthodes d'aide structurées.

Il s'est avéré difficile d'analyser les données tirées des sondages d'opinion publique déjà réalisés dans plusieurs pays membres de l'OCDE, en raison de différences existant dans la portée, le champ couvert et les méthodes adoptées dans chaque sondage. Néanmoins il est possible de dégager des sondages analysés, deux principales caractéristiques en ce qui concerne l'opinion et les préoccupations du grand public sur les problèmes liés à l'énergie nucléaire. En premier lieu, dans plusieurs cas, les attitudes du public à l'égard de l'énergie nucléaire ne semblent pas être pleinement reflétées dans la politique énergétique nationale poursuivie par les gouvernements, par exemple l'abandon progressif ou des moratoires visant le nucléaire. Une telle situation peut tenir à l'inertie intrinsèque des grands systèmes technologiques

et politiques, mais également indiquer que le public n'est pas suffisamment associé à l'élaboration des politiques et à la prise de décision dans le secteur de l'énergie nucléaire. En second lieu, il semble que les gens souhaitent avoir accès à plus d'informations concernant l'énergie nucléaire. Compte tenu du fait que les connaissances sont importantes pour permettre au public de mieux appréhender les problèmes posés par l'énergie nucléaire, l'intérêt ainsi manifesté offre des possibilités de renforcer au bout du compte la confiance dans l'énergie nucléaire grâce à une information plus efficace.

Autre observation importante se dégageant des sondages d'opinion : l'accès à une information complète pourrait améliorer la confiance du public dans les organismes qui fournissent cette information – tels que les gouvernements et l'industrie – notamment si ceux-ci procèdent de manière ouverte et transparente. Instaurer la confiance par le partage de l'information et une bonne communication est indispensable à la poursuite de l'utilisation et au développement de l'énergie nucléaire. Dans les pays démocratiques modernes, la société civile est susceptible de jouer un rôle de plus en plus important dans tous les processus décisionnels et, de ce fait, la politique visant l'énergie nucléaire devrait être de plus en plus influencée par l'opinion publique. Dans ce contexte, la réalisation et l'analyse approfondie de sondages d'opinion publique sur les principaux aspects de l'énergie nucléaire devraient donc faire partie intégrante de la prise de décision relative à l'énergie nucléaire.

Vu l'importance que revêt la perception des risques et la communication y afférente pour une meilleure compréhension des relations entre la société civile, les experts de l'énergie nucléaire et les gouvernants, l'AEN poursuit ses activités dans ce domaine afin de fournir des informations utiles aux pays membres dans la mise en œuvre de leurs propres cadres de prise de décision. Une étude théorique a été réalisée sous l'égide du Comité chargé des études techniques et économiques sur le développement de l'énergie nucléaire et le cycle du combustible (NDC) de l'AEN, qui a abouti à la très récente publication d'un rapport intitulé *Société et énergie nucléaire : vers une meilleure compréhension* (pour plus de détails, voir page 33). En outre, le NDC procédera à une analyse de l'expérience pratique acquise dans différents pays membres, offrant l'occasion de partager des informations, de tirer les enseignements des échecs et des succès et de définir en fin de compte des pratiques optimales susceptibles de présenter de l'intérêt pour les experts et les décideurs. ■

# Protection radiologique de l'environnement

**La question de l'établissement d'un système de protection de l'environnement a surgi récemment dans les débats sur la protection radiologique. Jusqu'à présent, le système de protection radiologique a privilégié la protection des êtres humains, en partant du principe que, ce faisant, l'environnement était également correctement protégé. Toutefois, la société civile évolue et cette approche la satisfait de moins en moins, aussi devient-il impératif de démontrer que l'environnement est protégé.**

**D**epuis le début du 20<sup>ème</sup> siècle, l'objectif premier de la protection radiologique est d'assurer une norme de protection appropriée concernant l'espèce humaine, sans limiter indûment les utilisations bénéfiques de l'exposition aux rayonnements, par exemple à des fins médicales. Le système de protection radiologique a évolué au fil du temps sous l'impulsion des études réalisées sur les effets des rayonnements ionisants. Le système en vigueur fondé sur les recommandations de la Commission internationale de protection radiologique (CIPR), est actuellement en cours de révision afin de déterminer les améliorations qui pourraient y être apportées.

L'un des objectifs de la révision est de rendre le système de radioprotection plus cohérent et plus concis. La protection de l'environnement est également prise en compte. Dans divers groupes internationaux, des travaux sont en cours pour élaborer une doctrine concernant la protection radiologique de l'environnement qui couvre tous les aspects du problème et puisse être mise en œuvre de façon efficace. L'AEN a proposé de participer à ces travaux en encourageant et en mettant sur pied un processus dédié à l'élaboration d'une politique étayée par des données aussi complètes que possible. Cette stratégie visait également à promouvoir l'échange d'informations entre les diverses initiatives.

## Un nouveau système de protection de l'environnement

Il ressort des débats tenus à l'occasion d'un forum AEN-CIPR<sup>1</sup> au début de 2002, que le système de protection de l'environnement devra reposer sur des bases scientifiques solides et conduire à la formulation de règles bien définies de façon à pouvoir évaluer et suivre correctement les situations. C'est la condition d'une mise en œuvre efficace. Tout en étant fondé sur des considérations scientifiques, le système devra aussi prendre en compte les aspects sociaux, philosophiques, éthiques, politiques et économiques. Il s'inspirera en outre du principe de précaution, selon une définition adaptée à ce cas d'espèce. En dernière analyse, il faudrait que les systèmes de protection de l'espèce humaine et de protection de l'environnement épousent des stratégies cohérentes. Toutefois, bien que cette approche soit nécessaire pour emporter l'adhésion de la société civile, cela ne doit pas conduire nécessairement à l'adoption de systèmes absolument identiques dont la réalisation pourrait s'avérer difficile.

Il faudra redéfinir les notions actuelles de justification et d'optimisation pour intégrer l'aspect environnemental dans le cadre général du système. On voit déjà se dessiner des positions qui vont

\* M. Stefan Mundigl (mél : mundigl@nea.fr) est membre de la Division de la protection radiologique et de la gestion des déchets radioactifs de l'AEN.

au-delà de la définition anthropogénique de l'optimisation. En effet, on observe aujourd'hui une évolution sensible du principe ALARA (niveau le plus bas que l'on peut raisonnablement atteindre) tel qu'il est appliqué dans la gestion des rejets dans l'environnement. Sous la pression de plus en plus vive de la société civile, les autorités réglementaires commencent à envisager le principe ALARA en liaison avec la notion de BAT (meilleures techniques disponibles). À l'évidence, cette évolution fait écho aux demandes du public de réduire au minimum les rejets de déchets dans l'environnement – à titre de précaution, mais aussi en réponse à une nouvelle exigence de maintien d'un « environnement propre ».

### Définir l'environnement à protéger

Si l'environnement est circonscrit à l'habitat humain, le système de protection radiologique actuel est suffisant, à condition d'être mis en œuvre comme il convient. En protégeant les personnes du public sur une base individuelle, on protège par là même l'environnement. Ainsi, dans l'optique anthropocentrique en vigueur, l'environnement est contrôlé pour éviter une surexposition du public. À cette fin, des limites réglementaires sont imposées concernant les quantités susceptibles d'être rejetées dans l'eau ou dans l'atmosphère et les autorités réglementaires prennent déjà ces facteurs en considération au moment d'octroyer les autorisations d'installations nucléaires. Ces aspects entrent aussi en ligne de compte lors de l'assainissement et de la réoccupation ultérieure de sites par le public. Les limites d'un tel système sont les plus évidentes dans les zones à faible densité de population ou inhabitées de la planète. En outre, les cofacteurs traditionnellement étudiés pour l'espèce humaine, à savoir les substances chimiques et physiques ou les toxines bactériologiques sont plus fréquemment représentés s'agissant de l'environnement.

Si la définition de l'environnement dépasse la simple espèce humaine et son cadre immédiat, et s'étend aux régions inhabitées, l'axiome de la « protection par le biais de la protection de l'homme » reste à prouver, et il semblerait bien qu'elle ne se vérifie pas dans tous les cas de figure. Il serait en particulier inopérant dans le cas des sites d'où l'homme est absent, tels que la mer de Kara, mais qui posent néanmoins de graves préoccupations. Il ne permettrait pas non plus de résoudre la question de la protection de l'environnement en liaison avec la gestion des sites de stockage dans des formations géologiques profondes, même si aucun effort n'est épargné pour assurer que les incidences actuelles et futures sur l'espèce humaine et son

environnement soient négligeables ou acceptables. D'autres situations « hybrides » peuvent également être imaginées, par exemple des rejets qui provoquent une faible exposition de l'espèce humaine ou des éléments de la chaîne alimentaire humaine, mais qui contaminent fortement d'autres éléments de l'environnement.

Une démarche biocentrique en vertu de laquelle une liste d'espèces protégées serait établie risque d'être à la fois subjective et incomplète. Une approche écocentrique, fondée sur la préservation d'écosystèmes, semble plus rationnelle qu'une protection globale de l'environnement. Cette thèse est étayée par l'aptitude croissante de la communauté scientifique à démontrer qu'une action à un niveau donné, même trivial, peut avoir un effet différé dans le temps et dans l'espace. Les actions conduisant à des changements climatiques et les problèmes relatifs à la couche d'ozone en constituent des exemples. Toutefois, une fois définie la cible à protéger, reste à résoudre les problèmes d'évaluation des effets et d'estimation des risques.

### Fixation des niveaux de protection

Pour que le système soit applicable, il faudra que les autorités réglementaires définissent clairement les objectifs et les méthodes pour les atteindre. Les mêmes principes de protection devraient s'appliquer également à tous les polluants environnementaux, qu'ils soient radiologiques, chimiques ou biologiques. Pour être crédible et compris par les utilisateurs et par le public, le système devra être pragmatique. Les responsables de la réglementation auront également besoin de repères chiffrés pour pouvoir suivre la mise en œuvre du système. À l'évidence, plus ces repères seront simples et plus ils seront faciles à vérifier et plus le système aura des chances d'être mis en œuvre et compris. Un système réglementaire fondé sur la performance pourrait également convenir.

La protection de l'environnement étant une question de portée mondiale, il semblerait nécessaire de concevoir un système cohérent à l'échelon international et assorti lignes directrices et de garde-fous suffisamment clairs et précis pour interdire des interprétations locales des niveaux de protection de l'environnement. Cependant, cohérence ne signifie pas nécessairement uniformité et le système de protection de l'environnement devrait être suffisamment souple pour autoriser des initiatives locales, car l'acceptation par le public d'une politique environnementale suppose un consensus entre les parties concernées à différents niveaux.

Dans le cas des polluants fortement mobiles susceptibles de traverser facilement les frontières, et

que l'on peut trouver en tout lieu sur la planète, un consensus international est indéniablement désirable. Un tel accord porterait sur la pollution de l'air ainsi que des mers et des océans. Ce type de pollution peut se produire, par exemple à la suite d'essais d'armes atomiques ou d'accidents extrêmement graves tels que celui de Tchernobyl.

Dans d'autres circonstances, dans lesquelles les conséquences des rejets sont limitées à un espace déterminé, on pourrait s'en tenir à un consensus régional rassemblant un certain nombre de pays affectés, sans pour autant franchir les limites d'une zone géographique donnée. C'est le cas de certains rejets industriels qui, en raison de leur comportement écologique ou de leur demi-vie, ne touchent que des zones géographiques limitées.

Quant aux polluants à faible dispersion, tels que les déchets radioactifs stockés en profondeur, le consensus devra se faire sur une base nationale, voire locale, car les populations vivant à des dizaines de kilomètres d'un site de stockage peuvent ne pas ressentir les dangers d'un site de la même façon que les populations vivant à proximité. Cette définition géographique peut à elle seule beaucoup contribuer à désamorcer certains conflits potentiels. Par exemple, certaines populations vivant dans des zones localement contaminées peuvent préférer courir un risque légèrement plus élevé plutôt que perdre des emplois ou être contraintes de déménager.

Les chiffres retenus pourraient comprendre les débits de dose (Gy/Unité de temps) auxquels les cibles (espèces de référence, par exemple) sont exposées, et/ou les concentrations (Bq/Unité de masse ou de volume) dans les milieux où résident les cibles. Définir une dose interne, comme pour les êtres humains, semble quasiment impossible et inutile et ne pourrait que compliquer le système. Une méthode simple fondée sur le débit de dose ou la concentration permettrait de meilleures comparaisons avec d'autres polluants environnementaux. À cette fin, il faudra réaliser des études pour définir des « espèces sentinelles », représentatives de la « santé » d'un écosystème.

Compte tenu de l'évolution des technologies, le système devra être souple et capable d'intégrer les changements. L'acceptabilité de certains risques étant subordonnée à un jugement subjectif au niveau local et/ou national, on peut concevoir que le système prenne en compte le niveau de développement d'un pays donné et soit plus exigeant vis-à-vis des pays technologiquement les plus avancés sans pour autant faire preuve de laxisme à l'égard des autres. Protéger l'environnement sera à l'évidence un processus de longue haleine et la vitesse avec laquelle le système s'appliquera devra

prendre en considération le contexte sociétal et les priorités nationales. Ce genre de débats se poursuit notamment en ce qui concerne les polluants atmosphériques qui menacent les climats à l'échelle de la planète et une approche analogue doit être envisagée pour les discussions au niveau international de façon à ne pas pénaliser indûment le monde en développement.

### Concertation publique et aspects relatifs à la société civile

Rares sont ceux qui contesteraient la nécessité de dialoguer avec tous les secteurs de la société avant d'instaurer un tel système, mais il faudra aussi poursuivre le dialogue après sa mise en place. Les populations sont confrontées à diverses contraintes sociales et en premier lieu la nécessité de travailler. Une protection draconienne allant à l'encontre de cette considération primordiale serait rejetée tôt ou tard et elle pourrait déclencher dans la société des effets secondaires pires que les dangers combattus. Toute organisation internationale qui propose un nouveau système, comme la CIPR, devra dialoguer avec les utilisateurs, les écouter et être attentive à leurs besoins.

### Conclusions

La protection de l'environnement dans le cadre du système actuel de protection radiologique est suffisante pour autant que l'espèce humaine fait partie intégrante de l'écosystème. Dans les cas où l'homme est absent, on ne peut pas prouver que l'environnement est correctement protégé. Le système futur de protection radiologique de l'environnement devra être pragmatique et suffisamment souple pour permettre la mise en place de solutions régionales. Le processus d'élaboration du système nécessitera la participation d'un large éventail de parties prenantes de façon à garantir son acceptation qui peut jouer un rôle considérable dans sa mise en œuvre ultérieure. La série de forums AEN-CIPR, dont le prochain se tiendra en avril 2003 en Espagne, s'inscrit dans un processus dynamique de renforcement du dialogue. La coopération entre la communauté scientifique et les autres parties concernées devrait conduire à la mise au point d'un système de protection globalement avantageux et efficient. ■

### Notes

1. Le forum AEN-CIPR intitulé « Radiological Protection of the Environment, The Path Forward to a New Policy? », s'est tenu du 12 au 14 février 2002 à Taormina, Italie. Un second forum intitulé « The Future Policy for Radiological Protection » se tiendra du 2 au 4 avril 2003 à Lanzarote, îles Canaries, Espagne.
2. Bréchnignac, F. « Environment versus man radioprotection: The need for a new conceptual approach? », Radioprotection, Vol. 37, C1, pp. 161-166.

# Ressources en combustible nucléaire : pour combien de temps ?

La nécessité de répondre dans des conditions écologiquement viables aux demandes toujours croissantes d'énergie a conduit à s'interroger sur la possibilité de prévoir une place plus importante pour l'énergie nucléaire dans le dosage des approvisionnements énergétiques futurs. S'agissant de la durabilité d'une source d'énergie donnée, l'un des aspects fondamentaux est la disponibilité des ressources en combustible. Le présent article montre que les ressources en combustible nucléaire peuvent satisfaire les besoins futurs pendant des centaines d'années, voire des milliers.

## Disponibilités en uranium

L'édition 2001 de la publication de l'AEN intitulée *Uranium : Ressources, production et demande* (mieux connue sous le nom « Livre rouge ») donne des estimations officielles des ressources en uranium à l'échelle mondiale<sup>1</sup>. Traditionnellement, ces ressources sont classées en fonction de leur attrait économique et de la confiance dans leur existence.

## Ressources classiques

Les ressources les plus directement accessibles, c'est-à-dire les ressources connues et exploitables à faible coût par les techniques d'extraction traditionnelles, sont dénommées « ressources classiques

connues ». Ces ressources sont divisées en deux sous-groupes : les ressources raisonnablement assurées (RRA) et les ressources supplémentaires estimées de catégorie I (RSE-I). Les ressources classiques connues sont généralement exprimées en termes de quantité d'uranium récupérable,

**Tableau 1. Ressources estimées en uranium**

Type de ressources	Estimation (milliers de tonnes)
<b>Ressources classiques connues</b>	
Ressources raisonnablement assurées (RRA)	2 850
Ressources supplémentaires estimées – catégorie 1 (RSE-I)	1 080
<b>Ressources classiques non découvertes</b>	
Ressources supplémentaires estimées – catégorie II (RSE-II)	2 330
Ressources spéculatives (RS)	9 940
<b>Sources secondaires</b>	
Stocks commerciaux	220
Excédents de source militaire	250
Réenrichissement	440
<b>Sous-total</b>	<b>17 110</b>
<b>Ressources non classiques</b>	
Dans les phosphates	22 000
Dans l'eau de mer	4 000 000
<b>Total</b>	<b>4 039 110</b>

\* M. Robert Price (mél : robert.price@oecd.org) est membre de la Division du développement de l'énergie nucléaire de l'AEN ; M. J.R. Blaise (mél : j.blaise@iaea.org) travaille à l'Agence internationale de l'énergie atomique, à Vienne.

compte tenu des pertes inhérentes aux processus d'extraction et de traitement. Les ressources classiques connues récupérables sont classées selon les tranches de coût suivantes : inférieure ou égale à US\$40/kg d'uranium (kg d'U), inférieure ou égale à \$80/kg d'U et inférieure ou égale à \$130/kg d'U. Il convient de noter que le prix actuel de l'uranium sur le marché est d'environ \$20-30/kg d'U.

#### Note sur les coûts de production

*La nature des coûts de production de l'énergie nucléaire permet des augmentations non négligeables des coûts de l'uranium avant d'entraîner des augmentations sensibles des coûts de production de l'électricité. Par exemple, une hausse de 100 % du coût de l'uranium ne se traduirait que par une augmentation de 5 % dans le coût de l'électricité d'origine nucléaire produite avec les modèles de réacteurs actuels et encore plus faible en cas d'utilisation de réacteurs rapides.*

Les ressources dont on admet qu'elles existent et qu'elles sont exploitables grâce aux techniques d'extraction traditionnelles, mais dont la présence n'a pas encore été physiquement confirmée, sont qualifiées de « ressources classiques non découvertes ». Ces ressources comprennent les ressources supplémentaires estimées de catégorie II (RSE-II), les ressources en uranium dont on admet la présence dans des formations ayant des caractéristiques géologiques bien définies, ou dans des zones de minéralisation comportant des gisements connus ; et les ressources spéculatives (RS), les ressources en uranium dont on pense qu'elles existent dans des zones géologiquement favorables mais encore non prospectées. La plupart des RSE-II et des RS sont répertoriées comme des ressources *in situ*, c'est-à-dire sans prendre en compte les pertes liées à l'extraction et au traitement. Plusieurs pays, dont l'Australie, n'ont pas fait état des ressources classiques non découvertes dans l'édition 2001 du Livre rouge, bien que l'on estime que ces pays possèdent un potentiel de ressources important dans des zones prospectées de façon fragmentaire.

#### Ressources non classiques

Il existe des ressources supplémentaires définies comme non classiques, dans lesquelles l'uranium existe à de très faibles teneurs ou peut être

récupéré comme un sous-produit secondaire. On y range l'uranium présent dans les gisements de phosphate et dans l'eau de mer. La technologie permettant d'extraire l'uranium des phosphates est au point et a été utilisée dans le passé ; seuls les coûts de récupération élevés limitent l'intérêt de ces ressources. D'après certaines recherches, il serait possible d'exploiter les vastes ressources d'uranium contenues dans les océans. À ce jour, l'opération n'a été réalisée qu'à l'échelle du laboratoire et l'on évalue à un niveau très élevé, environ 5 à 10 fois le coût de l'uranium extrait selon les méthodes classiques, le coût de l'extraction de l'uranium de l'eau de mer. Il faudrait du temps et des investissements supplémentaires pour rendre cette technologie opérationnelle. Étant donné le faible coût actuel de l'uranium et la présence de ressources bon marché en quantité suffisante pour répondre aux besoins pendant plusieurs décennies sur la base des taux de demandes actuels, il est peu probable que des investissements significatifs soient effectués dans l'avenir prévisible.

#### Sources secondaires

Bien que relativement modestes par rapport aux ressources décrites ci-dessus, les sources secondaires d'uranium jouent un rôle non négligeable dans l'approvisionnement actuel et cette situation devrait se perpétuer dans l'avenir proche<sup>2</sup>. Les principales sources secondaires d'uranium sont les suivantes :

- Stocks d'uranium extrait dans le passé détenus par des organisations publiques et privées. Ils comprennent les stocks stratégiques, la charge en œuvre dans les installations du cycle du combustible et les stocks excédentaires disponibles sur le marché.
- Des stocks importants d'uranium extrait dans le passé provenant d'applications militaires aux États-Unis et dans la Fédération de Russie commencent à devenir disponibles pour des applications commerciales. L'uranium hautement enrichi et l'uranium naturel détenus sous des formes diverses par le secteur militaire pourraient représenter quelques années d'approvisionnement d'équivalent en uranium naturel. En outre, il existe des excédents de plutonium qui, transformé en combustible à mélange d'oxydes (MOX), peut se substituer à l'uranium frais.
- Les importants stocks d'uranium appauvri, sous-produit du processus d'enrichissement de l'uranium, représentent une réserve considérable

d'uranium susceptible de remplacer la production primaire d'uranium. En 1999, le stock d'uranium appauvri qui s'élevait à 1,2 million de tonnes d'uranium pouvait fournir jusqu'à 452 000 tonnes d'équivalent d'uranium naturel<sup>3</sup>.

Le Tableau 1 présente des estimations des diverses catégories de ressources explicitées ci-dessus, à la fin de l'an 2000. Il ressort de ce tableau que plus de 75 % des ressources classiques en uranium appartiennent à la catégorie des ressources classiques non découvertes. Ainsi, au fur et à mesure que les ressources classiques s'épuiseront, la production future devra être assurée à partir de nouveaux projets. Sur la base des données provenant de l'édition 2001 du Livre rouge, les ressources classiques connues pourraient suffire pendant environ 75 ans au rythme actuel de la demande. Cela nous amène certes assez loin dans l'avenir, mais les ressources à faible coût seront épuisées avant cette échéance. Étant donné qu'il faut beaucoup de temps pour faire passer un nouveau projet au stade de la production, les décisions de mise en valeur devront être arrêtées en temps utile pour faire en sorte que les ressources deviennent disponibles au moment voulu. Ainsi, le gisement de la rivière McArthur au Canada a été découvert en 1988 et la production a commencé en 1999 ; il a fallu onze années pour mettre la mine en production. De même, le gisement de Cigar Lake, toujours au Canada, a été découvert au début des années 1980 mais la production ne devrait pas commencer avant 2005. De nombreux facteurs peuvent influencer sur la durée nécessaire pour mener à son terme un nouveau projet d'exploitation minière, notamment les processus réglementaires, les contestations juridiques et les conditions économiques.

### Répartition géographique et sécurité des approvisionnements

La répartition de l'uranium dans le monde est un autre aspect de la disponibilité de cette ressource. Les gisements de pétrole et de gaz naturel sont concentrés dans des aires géographiques relativement limitées, le Moyen-Orient et la Fédération de Russie possédant environ 70 % des réserves mondiales de pétrole brut et de gaz naturel<sup>4</sup>. En revanche, la zone OCDE recèle environ 40 % des ressources connues d'uranium, approximativement le même pourcentage que pour les réserves de charbon. C'est beaucoup plus que sa part des réserves de pétrole (environ 7 %) et de gaz naturel (approximativement 12 %). À un horizon plus lointain, tout pays ayant une fenêtre sur la mer pourrait éventuelle-

ment puiser dans les abondantes ressources d'uranium présentes dans les océans.

En outre, les pays de l'OCDE sont autonomes s'agissant des services essentiels de transformation du minerai d'uranium en combustible nucléaire achevé, à savoir conversion, enrichissement et fabrication du combustible. Par conséquent, une fois construites, les centrales nucléaires constituent une source d'électricité en grande partie, sinon entièrement, nationale.

### Effets de la technologie avancée des réacteurs et des cycles du combustible

La technologie avancée revêt une importance particulière dans toute discussion relative à la disponibilité des ressources en combustible nucléaire, car elle est susceptible d'accroître la base de ressources de façon spectaculaire et d'augmenter le rendement. Les réacteurs à eau ordinaire constituent près de 80 % du parc nucléaire mondial. La plupart fonctionnent en « cycle ouvert », où l'uranium est placé dans un réacteur pour produire de l'énergie et après un certain temps est retiré et traité en tant que déchet en vue de son stockage. Dans un cycle ouvert de cette nature, environ 99 % du contenu énergétique potentiel du combustible nucléaire demeurent inutilisés. D'autres réacteurs utilisent du combustible recyclé, ce qui améliore le rendement énergétique. Le recyclage du combustible nucléaire irradié dans les réacteurs actuels peut conduire à une économie d'environ 10 à 15 % de l'uranium initialement extrait, grâce à l'utilisation de l'uranium restant et du plutonium produit pendant le processus de fission dans le combustible d'origine à l'uranium. Le plutonium est extrait du combustible irradié et recyclé sous forme d'éléments combustibles à mélange d'oxydes (MOX), mais le nombre de recyclages est à présent limité en raison de l'accumulation d'isotopes indésirables. À l'issue de quelques cycles, le combustible doit être géré de la même façon qu'un déchet provenant d'un cycle ouvert. À l'heure actuelle, on s'en tient à un seul recyclage.

Pourtant, grâce aux progrès technologiques déjà connus, ces ressources pourraient être accrues au point de rendre le combustible nucléaire virtuellement inépuisable. L'introduction et l'utilisation de réacteurs rapides présenteraient des avantages significatifs sur la technologie actuelle des réacteurs thermiques :

- Ils permettent d'utiliser plus efficacement des matériaux fertiles comme combustible nucléaire, tels que l'uranium 238 et le thorium,

### Matière fertile

Par matière fertile, on entend une matière susceptible d'être transformée en matière fissile, c'est-à-dire susceptible de subir une fission nucléaire par capture d'un neutron thermique. On peut citer en particulier l'uranium 238, susceptible de se transformer en plutonium 239 et le thorium 232, pouvant se transformer en uranium 233 fissile.

d'où un élargissement de la base de ressources disponibles.

- Dans une configuration de surgénération, les réacteurs rapides peuvent produire davantage de combustible qu'ils n'en consomment, ce combustible étant ensuite récupéré et utilisé pour produire de l'énergie.

On pourrait, par exemple, alimenter les réacteurs rapides avec les résidus d'uranium appauvri mentionnés plus haut qui ont déjà été raffinés et sont actuellement stockés. Ce sous-produit de l'enrichissement de l'uranium deviendrait par conséquent une ressource de combustible disponible pour produire de l'énergie, d'où une augmentation des ressources en uranium naturel.

Le thorium, ressource naturelle abondante et largement répandue peut également être utilisé comme ressource de combustible (voir tableau 2).

**Tableau 2. Ressources de combustible nucléaire utilisables dans des réacteurs rapides**

Catégorie de ressources	Estimation (milliers de tonnes)
Réserves de thorium <sup>1</sup>	2 160
Ressources de thorium supplémentaires <sup>1</sup>	2 350
Résidus d'uranium appauvri <sup>2</sup>	1 200 (758) <sup>3</sup>

1. Les données concernant la Chine, l'Europe centrale et orientale et l'ex-Union soviétique ne sont pas disponibles. Source : *Perspectives énergétiques mondiales*, Programme des Nations Unies pour le développement, New York, 2000 ; banque de données de l'Institut fédéral d'Allemagne des sciences de la Terre et des ressources naturelles.

2. À la fin de 1999. *Gestion de l'uranium appauvri*, OCDE, Paris, 2001.

3. Si les résidus d'uranium appauvri sont réenrichis au maximum possible, il restera environ 758 000 tonnes d'uranium d'une teneur de 0,06 % en uranium 235.

Il convient de considérer que les estimations actuelles de ressources de thorium sont plutôt sous-estimées pour les raisons suivantes :

- Les données concernant la Chine, l'Europe centrale et orientale et l'ex-Union soviétique n'ont pas encore été publiées.
- La faiblesse chronique de la demande a limité la prospection de thorium.

Il est possible, voire probable, que les ressources de thorium dépassent de très loin les quantités bien attestées et que de nouveaux gisements seraient découverts si une prospection concertée devenait justifiée.

La mise en œuvre de ces innovations technologiques n'est pas pour aujourd'hui et elle demandera des efforts et des investissements considérables en matière de recherche et de développement. Bien qu'aucune introduction commerciale ne soit encore envisagée, les réacteurs rapides demeurent une perspective prometteuse en ce qui concerne l'utilisation des ressources.

### Longévité

Compte tenu de ces estimations des ressources et des options technologiques, combien de temps serons-nous en mesure de produire de l'énergie nucléaire ? La réponse est subordonnée à de nombreux facteurs, y compris les niveaux de demande d'électricité. Le tableau 3 montre pendant combien d'années les ressources estimées permettraient de fournir de l'électricité, sur la base de diverses hypothèses technologiques en matière de réacteurs nucléaires et de cycles du combustible. Des hypothèses illustratives ont été formulées en fonction des ressources consommées par chaque technologie ainsi que des niveaux de demande. Néanmoins, même avec des taux de production dix fois supérieurs au niveau actuel, il y a suffisamment de ressources pour produire de l'énergie pendant des siècles et les développements technologiques allongeraient encore considérablement ces périodes.

### Conclusion

Le potentiel considérable de ressources en uranium, complété par l'utilisation éventuelle de réacteurs rapides et de cycles du combustible au thorium, donne à penser que l'énergie nucléaire sera à même dans l'avenir de répondre à une demande soutenue. À la question : « Disposons-nous de ressources suffisantes pour répondre aux besoins de la génération actuelle sans compromettre la capacité des futures générations à faire de même ? », la réponse est sans conteste oui. Les ressources en

**Tableau 3 : Effet des progrès technologiques sur la disponibilité des ressources**

Réacteur/cycle du combustible <sup>i</sup>	Prod. énergétique potentielle – ressources classiques (TWh) <sup>ii</sup>	Prod. énergétique potentielle – ressources totales (TWh) <sup>iii</sup>	Nbr. d'années de prod. d'électricité nucléaire mondiale – niveau de 1999 <sup>iv</sup> (ressources classiques)	Nbr. d'années de prod. d'électricité nucléaire mondiale – niveau de 1999 (total)
Cycle du combustible actuel (REO, cycle ouvert)	827 000	21 200 000	326	8 350
Cycle du combustible avec recyclage (Pu uniquement, un recyclage)	930 000	23 900 000	366	9 410
Réacteur à eau ordinaire et réacteur rapide combinés avec recyclage	1 240 000	31 800 000	488	12 500
Cycle du combustible dans réacteur rapide avec recyclage	26 000 000 <sup>v</sup>	630 000 000	10 000	250 000
Cycle du combustible avancé thorium/uranium avec recyclage	43 200 000 <sup>vi</sup>	90 200 000 <sup>vii</sup>	17 000	35 500

- i. Pour une description plus complète des technologies énumérées et de leurs besoins de ressources, voir référence 5.
- ii. On a calculé les ressources classiques en utilisant les ressources classiques et classiques non découvertes plus les sources secondaires, tirées du tableau 1, soit un total de 17 110 000 tonnes.
- iii. Les ressources totales comprennent les ressources classiques plus les ressources associées au phosphate, mais seulement 10 % de l'uranium présent dans l'eau de mer sont récupérés (400 millions de tonnes), soit un total cumulé de 439 110 000 tonnes.
- iv. *Key World Statistics*, AIE, Paris, 2001. La production totale d'électricité en 1999 (dernières données annuelles disponibles) par le secteur électronucléaire s'élevait à 2 538 TWh, arrondi à 2 540 TWh.
- v. Selon l'hypothèse de l'utilisation des ressources classiques plus 758 000 tonnes de résidus d'uranium appauvri restant après réenrichissement.
- vi. Selon l'hypothèse d'une base de réserves de thorium de 2 160 000 tonnes seulement et d'une quantité équivalente d'uranium appauvri.
- vii. Selon l'hypothèse de réserves de thorium de 4 510 000 tonnes et d'une quantité équivalente d'uranium appauvri. On suppose en outre qu'aucun nouveau gisement de thorium ne sera découvert.

combustible nucléaire sont suffisantes pour répondre encore très longtemps aux besoins énergétiques des générations présentes et futures même si le niveau de la demande venait à augmenter. Toutefois, ce potentiel ne pourra être exploité qu'au prix d'efforts et d'investissements considérables pour développer de nouveaux projets miniers et des technologies avancées susceptibles d'être utilisées en temps utile. ■

### Références

1. AEN (2002), *Uranium 2001 : Ressources, production et demande*, OCDE, Paris.
2. AIEA (2001), *Analysis of uranium supply to 2050*, IAEA-SM-362/2, AIEA, Vienne.
3. AEN (2001), *Gestion de l'uranium appauvri*, OCDE, Paris.
4. US Energy Information Administration (2002), *International Energy Annual 2000*, Washington D.C.
5. AEN (2001), *Le cycle du combustible nucléaire*, OCDE, Paris.

# Réacteurs de type avancé : questions de sûreté et besoins de recherche

L'AEN a organisé en février 2002 un « Atelier sur les questions de sûreté des réacteurs nucléaires avancés et les besoins de recherche ». Cette réunion a été copatronnée par l'AIEA et a été organisée en collaboration avec la Commission européenne. Elle a rassemblé plus de 80 participants représentant 18 pays et 4 organisations internationales. Cet article s'inspire des conclusions et recommandations établies par le comité d'organisation de l'atelier à l'intention du Comité sur la sûreté des installations nucléaires (CSIN) de l'AEN.

Actuellement, l'éventail des modèles de réacteurs nucléaires de type avancé va de la mise au point de modèles évolutifs et avancés de réacteurs à eau ordinaire (REO) à des modèles qui ne se limitent pas à la filière des REO, tels que les réacteurs à haute température refroidis par gaz ou les réacteurs à métal liquide. Ces modèles avancés intègrent un plus large recours à des caractéristiques avancées en matière de technologie et de sûreté, s'ajoutant à celles utilisées dans des installations actuellement en exploitation ou dans des modèles agréés ; il s'agit notamment de caractéristiques de sûreté passive, d'une moindre dépendance à l'égard des interventions humaines, d'un allongement du temps de réponse, de la mise en œuvre adaptée du principe de défense en profondeur, de méthodes analytiques améliorées et d'une plus grande place faite aux systèmes avancés d'instrumentation et de contrôle-commande. L'atelier avait pour objectif de rassembler un large

échantillon de parties – concepteurs, compagnies d'électricité, autorités de sûreté et chercheurs – susceptibles d'être intéressées par la mise au point et l'introduction de centrales nucléaires de type avancé, afin :

- de faciliter le repérage précoce et la solution des problèmes de sûreté par l'instauration d'un consensus entre les pays participants visant la définition des questions de sûreté, la portée des travaux de recherche requis pour traiter ces questions et une méthode permettant éventuellement de les résoudre ;
- de favoriser la préservation des connaissances et des savoir-faire visant la technologie des réacteurs avancés ;
- d'apporter des éléments d'information à l'élaboration du plan de marche technologique du Forum international Génération IV.

Au cours de l'atelier, on s'est aussi efforcé de rattacher les progrès des connaissances et de la compréhension des modèles avancés au processus réglementaire, en privilégiant l'instauration de la confiance du public.

## Conclusions de l'atelier

Le principe fondamental de la défense en profondeur en matière de sûreté nucléaire continue d'être utilisé dans les réacteurs de type avancé. Cependant, il a été admis que la mise en œuvre de la défense en profondeur, dans le cas des modèles futurs et avancés de réacteurs, soulève plusieurs questions et difficultés. Dans le passé, elle a été réalisée principalement par l'application déterministe des dispositions et des barrières

\* M. Jacques Royen (mél : [jacques.royen@oecd.org](mailto:jacques.royen@oecd.org)) est Chef adjoint de la Division de la sûreté nucléaire de l'AEN.

matérielles multiples s'opposant au rejet de produits de fission, et par des mesures en vue de prévenir les accidents et d'en atténuer les conséquences. L'accent mis sur la prévention et/ou l'atténuation diffère selon les divers modèles avancés. L'approche de la sûreté des futurs réacteurs devra s'inspirer d'une interprétation plus élaborée de la défense en profondeur, intégrant entièrement les enseignements de l'évaluation probabiliste de sûreté (EPS). La manière de parvenir à l'intégration optimale des notions déterministes et probabilistes demeure un problème majeur car l'EPS peut suggérer des stratégies et des tactiques qui s'écartent des prescriptions normatives de la défense en profondeur et parfois sont en contradiction avec celles-ci.

Quant aux modèles de réacteurs avancés examinés au cours de l'atelier, on s'est surtout limité aux réacteurs à eau ordinaire de type avancé, aux réacteurs à haute température refroidis par gaz (RHTRG), et aux réacteurs refroidis par métal liquide. Les filières considérées peuvent se classer en gros en deux catégories : celles qui sont parvenues à maturité, et sont plus ou moins prêtes à être commercialisées, telles que les modèles Framatome-ANP, SWR-1000 et Westinghouse AP-600, et celles qui sont des avant-projets telles que le réacteur IRIS (un REO de type avancé) et la plupart des réacteurs refroidis par métal liquide et des RHTGR. Une caractéristique commune à tous les types de réacteurs avancés est qu'ils promettent une amélioration de la sûreté par rapport à la génération actuelle de centrales ; de même l'importance de la sûreté et les dispositions à prendre contre les agressions externes sont des questions communes qui se posent à propos de tous les modèles futurs.

Les modèles éprouvés de REO avancés se caractérisent par une simplicité accrue et une rationalisation de la conception de leurs systèmes de sûreté, une place notable faite aux dispositifs de sûreté passive, et la prise en compte explicite des accidents graves en tant qu'élément de dimensionnement. En ce qui concerne les accidents graves, la façon dont ils sont traités au plan technique et réglementaire répond à des finalités différentes en Europe et aux États-Unis. Les fournisseurs et les autorités de sûreté en Europe exigent spécifiquement l'homologation de la sûreté de fonctionnement de leurs capacités de tenue aux accidents graves. Cela ne signifie pas cependant que toutes les questions techniques connexes ont déjà été formellement résolues ; des caractéristiques de conception sont aussi choisies sur la base des indications fournies par les EPS en vue d'éliminer des séquences d'accidents graves qui seraient par trop complexes à gérer. Aux États-Unis, on fait plus largement fond sur les EPS afin de définir les

### Modèles de réacteurs nucléaires de type avancé

*Susceptibles d'être introduits à court terme (d'ici à 2015)*

- réacteurs à eau sous pression de type avancé
- réacteurs à eau bouillante de type avancé
- réacteurs à tubes de force de type avancé
- réacteurs à circuits primaires intégraux
- réacteurs modulaires à haute température refroidis par gaz

*Susceptibles d'être introduits à plus long terme*

- réacteurs refroidis au sodium fondu
- réacteurs à très haute température
- réacteurs à neutrons rapides refroidis par gaz
- réacteurs refroidis par plomb
- réacteurs refroidis par eau surcritique
- réacteurs à sels fondus

vulnérabilités aux accidents graves et les mesures qui s'imposent pour réduire le risque imputable aux accidents graves.

Quant aux réacteurs à métal liquide, on dispose d'une expérience étendue de l'exploitation des réacteurs refroidis par sodium et il semble que l'on s'achemine vers une certaine convergence dans le traitement de certaines importantes questions, telles que les accidents de dislocation du cœur et les problèmes liés au sodium. En ce qui concerne les réacteurs refroidis par plomb/bismuth, il subsiste d'importantes questions ayant trait, entre autres, aux matériaux et aux aspects thermohydrauliques : intégrité, corrosion, charges thermiques et transfert de chaleur, effets de l'irradiation, etc. Il convient de noter cependant qu'une expérience d'exploitation considérable (environ 80 réacteurs-ans) a été acquise grâce aux sous-marins russes utilisant le même type de réfrigérant. Plusieurs organismes de recherche dans des pays membres de l'OCDE sont en train de construire des installations de recherche en vue d'intensifier les travaux expérimentaux et analytiques dans le domaine des métaux lourds liquides.

Quant aux RHTRG, on dispose d'une certaine expérience effective acquise en cours d'exploitation et du point de vue des RHTRG futurs, la situation est pour l'essentiel claire : les dossiers de sûreté des RHTRG, tels qu'ils se présentent jusque là, reposent très largement sur le combustible en tant que principale, sinon unique, barrière s'opposant à la diffusion des produits de fission, d'où il s'ensuit que toutes les questions afférentes au combustible deviennent prédominantes. Il s'agit notamment de l'homologation des modèles de combustible avec un très haut niveau de confiance, des questions de fabrication, de la manutention du combustible en cours d'exploitation, et d'une

meilleure compréhension des mécanismes et des modes de défaillance du combustible. Les modèles de RHTRG comportent des caractéristiques prometteuses face aux préoccupations fonctionnelles visant tant la criticité que l'évacuation de la chaleur résiduelle, mais leur succès dépendra en définitive de la qualité du combustible. De surcroît, certaines questions bien connues de sûreté systémique, telles que la venue d'air-eau dans le réacteur et l'intégrité de la cuve du réacteur eu égard au choc thermique, doivent encore être prises en charge dans une mesure qui soit convaincante pour l'ensemble de la communauté de la sûreté des réacteurs. Les travaux de recherche fondamentale concernant les caractéristiques de conception des RHTRG actuellement en vogue remontent, semble-t-il, pour la plupart à vingt à trente années, et il ne paraît pas y avoir beaucoup d'efforts récents d'expérimentation en vue de satisfaire ce besoin, soit en confirmant des résultats antérieurs, soit en comblant les lacunes existantes. Les tenants des RHTRG soutiennent que la centrale n'a pas besoin d'un confinement étanche aux fuites au sens classique du terme, contre les menaces internes en raison d'une sûreté fortement améliorée. Cependant, l'attention récemment portée aux agressions externes et le fait que l'importance relative de ces agressions augmente avec l'amélioration de la sûreté à l'égard des agressions internes, pose la question de la nécessité d'une enceinte de confinement ou d'une autre protection appropriée contre les agressions externes.

Les besoins spécifiques de travaux de recherche afférents à n'importe quelle filière de réacteurs ne peuvent être définis qu'une fois établi un dossier de sûreté global cohérent concernant cette filière. Ce dossier de sûreté contribue à déterminer où se situent les besoins de recherche subsistants et quel niveau de réduction des incertitudes (confiance) est requis. Théoriquement, le dossier de sûreté devrait rendre gérables toutes les exigences en matière de confiance correspondant à chaque question et facteur de sûreté considéré séparément ; alors seulement les problèmes de recherche peuvent être formulés correctement, autrement dit, les problèmes peuvent être définis de manière à ce que leur soit apportée une solution formelle susceptible d'être connue avec une précision appropriée et d'être obtenue à un coût raisonnable. Les travaux de recherche, qui sous-tendent la mise au point des systèmes passifs des modèles de REO de type avancé parvenus à maturité, semblent atteindre cet objectif, ou du moins s'en approchent.

### Recommandations

Le Comité organisateur a formulé plusieurs recommandations à l'intention du CSIN concernant les actions à mener à l'avenir :

- Il convient d'organiser des réunions de travail en vue d'examiner les dossiers de sûreté et les éléments de preuve à l'appui, en privilégiant les modèles de filières susceptibles d'être introduits à court terme.
- Les pays, qui portent un intérêt immédiat à ces options, devraient prendre l'initiative de la préparation de ces réunions de travail. Les réunions devraient être également ouvertes à des participants qualifiés et intéressés n'appartenant pas à l'OCDE, car bien des travaux concrets concernant les futurs réacteurs sont menés en dehors de l'OCDE.
- Il convient de rechercher et de mettre en lumière les possibilités de projets de recherche en coopération internationale.
- Des mesures devraient être prises en vue de compiler et de préserver les bases de connaissances existantes, en particulier dans le cas des technologies mises au point il y a plus de vingt ans (essais fondamentaux visant le combustible des RHTRG, par exemple). Un bon exemple de la manière de le faire est offert par les Matrices de validation des programmes de calcul élaborées (principalement) pour des applications à des REO ; la partie la plus importante de ces travaux est le stockage des résultats d'expériences choisies, par exemple à la Banque de données de l'AEN. Un stockage reconnu et garanti au plan international constitue la seule façon de faire en sorte que des données, des connaissances et une compréhension essentielles ne soient pas perdues. La perte irréversible de certaines données d'essai relatives aux REO est déjà intervenue. Afin d'éviter la perte de données d'essai essentielles concernant d'autres filières de réacteurs, il serait judicieux de commencer, en toute première priorité, d'établir les bases de données internationales correspondantes (au minimum, dès que de nouvelles données commencent à devenir disponibles).
- Plus généralement, afin de maintenir le niveau de compétence, il convient de prendre des mesures en vue de préserver les connaissances et l'expérience acquise dans des domaines où la R-D est au point mort, par exemple la mise au point de surgénérateurs à neutrons rapides refroidis par métal liquide. De telles activités couvriraient des aspects du stockage et de la recherche ainsi que du transfert d'informations dans l'industrie, les universités et les organismes de réglementation. ■

### Référence

AEN (2002), *Advanced Nuclear Reactor Safety Issues and Research Needs: Workshop Proceedings*, Paris, France, 18-20 février 2002, OCDE, Paris.

# Déclassement et démantèlement des installations nucléaires dans les pays de l'AEN

Les pays membres de l'OCDE/AEN figurent parmi ceux qui ont pris part aux tout premiers travaux de développement de la technologie nucléaire dans les années 40 et 50. Ils sont ainsi en possession d'un vaste éventail d'installations et d'équipements qui ont maintenant rempli leur finalité, et doivent être déclassés et démantelés. Une série de nouveaux défis se fait jour à mesure que les programmes électronucléaires plus modernes parviennent à maturité et que d'importantes centrales nucléaires commerciales s'approchent de la fin de leur durée de vie utile, en raison de leur âge, de facteurs économiques ou d'une modification de la politique visant le recours à l'électronucléaire. Pour se faire une idée de l'importance de ces défis, il suffit de considérer que plus de 500 tranches nucléaires ont été construites et exploitées de par le monde, la plupart d'entre elles dans des pays membres de l'AEN. Étant donné que la durée de vie moyenne attendue est de 30 à 40 ans et que l'âge moyen des centrales nucléaires est d'environ 15 ans, la cadence de mise hors service atteindra son maximum peu après 2015. La distribution statistique est toutefois large, certains pays ayant déjà mis hors service certaines centrales nucléaires commerciales, les ayant même déclassées et démantelées dans certains cas, alors que dans d'autres pays plusieurs années s'écouleront encore avant que des installations soient réformées.

Les travaux de déclasserment et de démantèlement (D&D) exécutés sur les premières installations

*\*M. Claudio Pescatore (mél : pescatore@nea.fr) est Administrateur principal, Gestion des déchets radioactifs, dans la Division de la protection radiologique et de la gestion des déchets radioactifs de l'AEN.*

ont permis d'obtenir une somme considérable de connaissances et de données d'expérience sur un vaste éventail de questions techniques complexes, mais il s'agit maintenant d'appliquer les techniques disponibles au déclasserment et au démantèlement des grandes installations commerciales. En plus des aspects techniques, les plans et procédures devront prendre en compte d'autres questions importantes liées aux incidences sur la société et l'environnement, aux dispositions réglementaires et au financement à long terme. Autrement dit, beaucoup a certes déjà été fait, mais il reste aussi beaucoup à faire.

L'AEN a reconnu de longue date l'importance du déclasserment et du démantèlement des installations nucléaires, et ce dès le début des années 80. Le Groupe de travail sur le déclasserment et le démantèlement (WPDD) de l'AEN vient de diffuser une vue d'ensemble de l'état du déclasserment et du démantèlement d'installations nucléaires et des questions connexes dans les pays membres de l'AEN<sup>1</sup>. Ce rapport s'inspire d'une base de données de fiches descriptives établies dans un format standard par les divers pays membres, à laquelle il est possible d'accéder en ligne à partir du site Web de l'AEN<sup>2</sup>. Le WPDD projette d'actualiser périodiquement cette base de données. Certains des principaux points de ce rapport sont exposés ci-après.

**Le D&D a pour objet de permettre de lever en totalité ou en partie les contrôles réglementaires s'appliquant à un site nucléaire.**

Le terme « déclasserment », lorsqu'il est appliqué dans son sens le plus large à des installations nucléaires, couvre toutes les mesures administratives et

techniques liées à la cessation de l'exploitation et à la mise hors service. Il commence lorsqu'une installation est fermée et s'étend jusqu'à l'élimination finale de l'installation à partir de son site (qualifiée de « démantèlement » dans le présent article). Ces mesures peuvent donner lieu à certaines ou à la totalité des activités liées au démantèlement de l'installation et de l'équipement, à la décontamination des structures et composants, à l'assainissement du terrain contaminé et à l'évacuation des déchets qui en sont issus. Le D&D a pour objectif de permettre de lever en totalité ou en partie les contrôles réglementaires qui s'appliquent à un site nucléaire tout en assurant la sûreté à long terme du public et de l'environnement, et en continuant de protéger la santé et la sécurité des travailleurs affectés au déclassement pendant son exécution. D'autres objectifs pratiques sous-tendent ce processus, parmi lesquels la libération d'actifs de valeur, tels que le site et les bâtiments, en vue d'une autre utilisation sans restriction, le recyclage et la réutilisation de matériaux et le rétablissement de l'agrément de l'environnement. Dans tous les cas, l'objectif fondamental est de parvenir à un stade final qui soit raisonnable du point de vue technique, social et financier, qui protège de façon appropriée les travailleurs, le public et l'environnement et, en bref, soit conforme aux principes de base du développement durable.

### **Il n'existe pas de démarche unique ou préférentielle à l'égard du D&D des installations nucléaires.**

Il est généralement admis que l'aboutissement final des activités de D&D est le retour du site à un état dans lequel il peut être libéré sans restriction. Au sein des pays membres de l'AEN il existe un large éventail d'opinions et de politiques visant la façon et le laps de temps requis pour parvenir à cet aboutissement final. Ces opinions et politiques sont influencées par les positions nationales, ou l'absence de celles-ci, sur des sujets tels que le recours futur à l'électronucléaire, la disponibilité durable de personnel qualifié, les questions de société liées aux incidences sur les communautés voisines, les autres utilisations possibles de l'installation et des sites (par exemple, pour de nouvelles installations nucléaires), les questions techniques et réglementaires, les dispositions visant la gestion des déchets, et les aspects économiques liés aux coûts et à la capacité d'autofinancement.

Les deux principales démarches stratégiques mises en œuvre sont les options de la « décontamination et (du) démantèlement immédiats » et du « stockage sous surveillance », ou une certaine association des deux. Par exemple, la décontamination et le démantèlement des équipements périphériques volumineux peuvent être

effectués dès les premiers stades afin de réduire l'impact visuel de l'installation, dont le reste peut être laissé à l'état de stockage sous surveillance.

Dans l'option de la décontamination et du démantèlement immédiats, après une période de quelques années pour permettre le refroidissement et la décroissance des radionucléides à vie courte, les équipements, bâtiments et éléments de l'installation et du site qui contiennent des polluants radioactifs sont décontaminés jusqu'à un niveau qui permet la levée du contrôle réglementaire. Ils sont démantelés dans la mesure requise peu après la cessation des activités. Les déchets radioactifs résiduels sont traités, conditionnés et transférés sur un site approprié de stockage ou d'évacuation des déchets.

Dans l'option du stockage sous surveillance, l'installation est placée dans un état stable et sûr et est maintenue dans cet état jusqu'à ce qu'elle soit ultérieurement démantelée et décontaminée jusqu'à des niveaux permettant la levée des contrôles réglementaires. Pour préparer le stockage sous surveillance, tout le combustible est retiré et les liquides radioactifs sont purgés des circuits et composants, puis traités. Au cours de la période de stockage sous surveillance, l'installation est maintenue intacte tandis que la décroissance radioactive intervient, réduisant ainsi la quantité de matières contaminées et radioactives qui doivent être évacuées pendant la décontamination et le démantèlement ultérieurs. Cette période de stockage sous surveillance peut durer de quelques dizaines à une centaine d'années.

### **Les techniques de D&D sont déjà disponibles et de précieuses données d'expérience sont intégrées dans la conception des installations et dans les plans de déclassement.**

Les techniques de décontamination et de démantèlement des installations nucléaires sont déjà disponibles. Il est désormais d'usage dans la conception des installations et la sélection des matériaux de faciliter la mise en œuvre de ces techniques. Il importe à l'avenir de veiller à ce que l'expérience croissante de l'application de ces techniques à de grandes installations, soit partagée par l'ensemble de la communauté du D&D, et que les enseignements tirés continuent d'être intégrés aux plans des nouvelles installations et aux projets de D&D.

### **De nombreuses installations nucléaires ont déjà été déclassées et démantelées avec succès.**

On dispose de techniques qui ont été appliquées avec succès au D&D de bon nombre des premières installations utilisées pour la mise au point et la démonstration de l'électronucléaire. Certains sites ont déjà retrouvé un état se prêtant

à une utilisation sans restriction. Cela a permis d'obtenir une somme notable de données d'expérience visant une large gamme d'applications complexes qui sont désormais utilisées pour de grandes installations commerciales. Les défis à relever à l'avenir consistent à perfectionner encore les stratégies et les processus en vue de garantir la sûreté, la protection de l'environnement et la rentabilité.

### **Les systèmes actuels de protection des travailleurs, du public et de l'environnement permettent d'assurer de façon satisfaisante la mise en œuvre et la réglementation du D&D.**

Les effets du D&D sur la santé et la sûreté tant des travailleurs que du public, de même que de l'environnement, sont bien connus et les systèmes de protection déjà en place les prennent en charge de façon satisfaisante. Cependant, du fait qu'il existe des différences notables entre l'exploitation et le D&D des installations nucléaires, on se propose d'examiner ces questions afin de veiller au maintien de la sûreté des travailleurs, du public et de l'environnement pendant tout le processus de D&D, et d'assurer la continuité et la transparence du processus réglementaire.

### **Les dispositions institutionnelles actuelles visent le D&D sont suffisantes pour les besoins présents.**

Les organismes actuellement en place pour établir la politique, la législation et les normes, pour exploiter les installations nucléaires et gérer les déchets radioactifs et pour réglementer ces activités, répondent aux besoins de la prise en charge du D&D. Selon les conditions prévalant dans chaque pays, il peut cependant être opportun de modifier les dispositions pratiques par la création de nouveaux organismes, par exemple d'organisations vouées à la gestion des charges financières, d'assumer la responsabilité en matière de D&D des exploitants retirés des affaires, ainsi que de préserver et d'étoffer les compétences connexes.

### **Des mécanismes sont en place en vue du financement du D&D, mais l'évaluation des coûts exige davantage d'attention.**

On s'accorde à reconnaître qu'il faut prendre des dispositions en vue du financement du D&D pendant la durée de vie d'une installation, et des mécanismes ont désormais été établis à cet effet dans les pays membres de l'AEN. La gageure est de faire en sorte que les coûts de D&D soient correctement calculés et que des fonds suffisants soient disponibles, lorsque cela est nécessaire.

Les systèmes de gestion des fonds varient d'un pays à un autre, selon la stratégie de D&D adoptée, et peuvent ou non faire intervenir des organisations de gestion des charges financières du type

mentionné plus haut. Les coûts de gestion des déchets constituent un élément important de l'ensemble des coûts de D&D et peuvent, dans certains cas, être prédominants, selon la manière dont les coûts, par exemple de la gestion du combustible irradié résiduel, sont imputés. En conséquence, il importe non seulement de réduire au minimum les quantités de déchets, mais aussi de définir et d'imputer séparément les coûts afférents au traitement, au stockage et à l'évacuation des déchets.

### **Les déchets issus du D&D sont pour la plupart semblables à ceux provenant de l'exploitation normale, mais certains posent des problèmes nouveaux qui devront être traités.**

La gestion et l'évacuation des déchets radioactifs constituent un aspect déterminant de l'achèvement satisfaisant du D&D des installations nucléaires et est un facteur majeur contribuant aux coûts globaux de ce dernier. Les déchets produits au cours du D&D des installations nucléaires sont pour une large part analogues à ceux produits pendant leur période d'exploitation, de sorte que ce nouveau problème se retrouve en grande partie aussi dans les activités en cours. Le nouvel élément caractérisant spécifiquement le D&D, tient à la grande quantité de déchets ne renfermant que de faibles concentrations de radionucléides. Cet aspect exige de se préoccuper sérieusement de mettre au point et d'appliquer des principes permettant de lever le contrôle réglementaire applicable à des matériaux utiles en vue de leur réutilisation ou recyclage, et de réduire ainsi au minimum la nécessité de les évacuer en tant que déchets radioactifs. La gestion de déchets spécifiques renfermant des matériaux tels que le graphite, le béryllium, le sodium, l'amiante, etc. devra aussi davantage retenir l'attention.

### **Les communautés locales exigent de participer davantage à la planification du D&D.**

Il est largement admis que la franchise et la transparence sont déterminantes pour obtenir l'approbation des plans de D&D par le public. La population locale exige de plus en plus d'être associée à une telle planification et cela peut accélérer l'introduction de notions comme « la prise de décision progressive ». L'enjeu à l'avenir sera donc d'élaborer des systèmes satisfaisants permettant de consulter le public, les communautés locales et, en particulier, d'instaurer des sources d'information dans lesquelles le public pourra avoir pleinement confiance. ■

## Notes

1. Ce rapport intitulé *Déclassement et démantèlement des installations nucléaires : Etat des lieux, démarches, défis* peut être obtenu à titre gratuit en s'adressant à [neapub@nea.fr](mailto:neapub@nea.fr).
2. Voir [www.nea.fr/html/rwm/wpdd.html](http://www.nea.fr/html/rwm/wpdd.html) pour plus d'informations concernant les activités du groupe de travail de l'AEN sur le déclassement et le démantèlement (WPDD).

# Séparation et transmutation : une option à long terme pour l'élimination des déchets radioactifs ?

Les risques à long terme imputables aux déchets radioactifs issus de la production d'énergie nucléaire préoccupent le public et les responsables de l'action gouvernementale. Le recours à la séparation et à la transmutation des actinides et de certains produits de fission à vie longue permet de réduire la radiotoxicité des déchets de haute activité (DHA), voire les exigences en matière de sûreté applicables à leur évacuation dans des formations géologiques, par rapport à l'actuel cycle du combustible à passage unique. Cependant, pour que l'entreprise technologiquement complexe de la séparation et de la transmutation vaille la peine d'être menée, une réduction de la radiotoxicité des DHA d'un facteur d'au moins 100 est souhaitable. Cela exige des stratégies de réacteurs et de cycles du combustible très efficaces, comprenant notamment des réacteurs à neutrons rapides (RNR) et/ou des systèmes sous-critiques couplés à des accélérateurs. Une attention croissante a récemment été portée

aux systèmes hybrides (couplés à des accélérateurs) en raison des possibilités qu'ils semblent offrir d'améliorer les caractéristiques de souplesse et de sûreté des systèmes de transmutation.

Une récente étude de l'AEN consacrée aux systèmes de séparation et de transmutation<sup>1</sup>, publiée en 2002, compare les stratégies de transmutation relatives aux réacteurs à neutrons rapides et aux systèmes hybrides afin de mettre en lumière le rôle spécifique que pourraient jouer les systèmes hybrides et les principales différences existant entre les systèmes hybrides et les RNR en ce qui concerne les propriétés des réacteurs, les exigences afférentes au cycle du combustible, les aspects économiques et les besoins de R-D.

Les stratégies examinées dans l'étude relèvent de deux grandes catégories : dans la première, le plutonium et les actinides mineurs (AM) sont gérés séparément alors que dans la seconde, ils sont gérés conjointement. Dans la première catégorie, le recours à des systèmes hybrides pour la transmutation peut conférer une souplesse supplémentaire en confinant les actinides mineurs à une partie réduite spécialisée du cycle du combustible, alors que le plutonium est pris en charge dans des réacteurs à neutrons rapides plus classiques. Les deux catégories exigent des technologies avancées, mais la première est plus évolutive. La seconde

*\* Mme Evelyne Bertel (e-mail: bertel@nea.fr) est membre de la Division du développement de l'énergie nucléaire de l'AEN ; M. Luc Van den Durpel (listo@pandora.be) est un ancien membre de cette division.*

### Principaux enseignements de l'étude de l'AEN sur la séparation et la transmutation

- *Pour parvenir à réduire d'un facteur cent la radiotoxicité, il faut des cycles du combustible avec recyclage multiple du combustible et de très faibles pertes de combustible.*
- *Pour exploiter toutes les potentialités d'un système de transmutation, il faut que ce système soit utilisé pendant une période minimale d'environ 100 ans.*
- *Toutes les stratégies de transmutation avec recyclage multiple du combustible permettent d'atteindre des réductions analogues de la radiotoxicité, mais le choix de la stratégie conditionne fortement les besoins du cycle du combustible.*
- *Le système hybride est particulièrement bien adapté en tant qu'incinérateur « spécialisé » d'actinides mineurs dans des scénarios de régime permanent et offre de la souplesse dans des scénarios de régime transitoire.*
- *Les méthodes évolutives fondées sur les systèmes hybrides et les méthodes novatrices fondées sur les RNR semblent constituer les stratégies de transmutation les plus intéressantes du point de vue tant technique qu'économique.*
- *Avant de pouvoir mettre en œuvre la technologie de la transmutation fondée sur les systèmes hybrides, il est nécessaire de consacrer des travaux considérables de R-D aux réacteurs sous-critiques, ainsi qu'aux combustibles et matériaux de type avancé.*

catégorie, qui est plus novatrice, pourrait améliorer les caractéristiques anti-prolifération. Les principaux résultats de l'étude sont récapitulés dans l'encadré.

À l'aube de l'énergie nucléaire, la disponibilité de l'uranium était considérée comme un facteur limitatif important pour le déploiement de l'énergie nucléaire, alors que les déchets radioactifs ne constituaient pas un problème majeur. Cette façon initiale de voir les choses engageait à introduire rapidement des réacteurs à neutrons rapides qui permettent un emploi rationnel du combustible classique à mélange d'oxydes d'uranium et de plutonium (MOX). De surcroît, la fermeture du cycle du combustible dans le cas du plutonium était considérée comme avantageuse en raison de son intérêt économique escompté. La réduction de la radiotoxicité des déchets, qui requiert aussi la fermeture du cycle du combustible pour les actinides mineurs, était moins intéressante car les actinides mineurs présentent une valeur économique limitée dans les réacteurs.

Aujourd'hui, alors que l'uranium est encore abondant, la quantité de déchets radioactifs et leur gestion à long terme soulèvent davantage de

préoccupations. La fermeture du cycle du combustible dans le cas du plutonium et des actinides mineurs est devenue un objectif pertinent dans la perspective du développement durable. La séparation et la transmutation des actinides et des produits de fission confèreraient davantage de « propreté radiologique » à l'énergie nucléaire et permettrait ainsi de satisfaire l'une des exigences les plus importantes pour parvenir à un système d'énergie nucléaire respectueux de l'environnement.

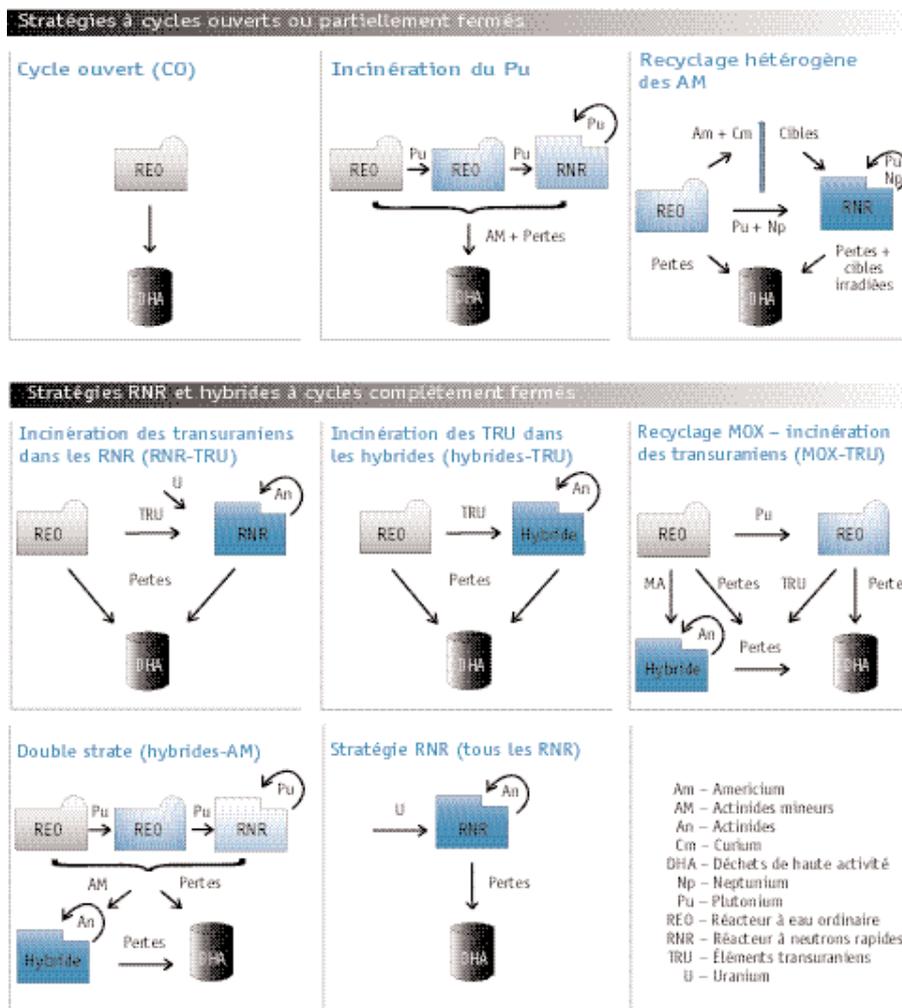
La Figure 1 présente les formules de cycle du combustible utilisées dans l'étude de l'AEN pour effectuer une évaluation quantitative des différentes stratégies d'incinération du plutonium et des actinides mineurs et les comparer au cycle du combustible à passage unique.

La conclusion essentielle qui se dégage des analyses comparatives effectuées est que toutes les stratégies de transmutation avec des cycles du combustible entièrement fermés permettent en principe d'atteindre des réductions similaires de l'inventaire d'actinides et de la radiotoxicité à long terme des déchets de haute activité. Ces réductions sont comparables à celles obtenues dans une stratégie exclusivement fondée sur des réacteurs à neutrons rapides. Cela veut dire qu'il n'existe pas de différences marquées entre les potentiels respectifs des stratégies fondées sur les RNR et de celles fondées sur les systèmes hybrides. Cependant, les défis technologiques de ces deux stratégies diffèrent.

Les stratégies de séparation et de transmutation analysées dans l'étude permettent d'atteindre une réduction supérieure à un facteur cent de la radiotoxicité à long terme des déchets, et des réductions plus élevées des quantités de métaux lourds et d'éléments transuraniens (TRU) devant être évacuées, par rapport au cycle du combustible à passage unique. Cependant, pour obtenir de tels facteurs de réduction, il est nécessaire que les pertes en cours de retraitement, et de fabrication du combustible dans le cas du multirecyclage, soient très faibles de même qu'il faut des taux de combustion élevés du combustible.

Les formules RNR-TRU et systèmes hybrides-AM présentent des avantages analogues en ce qui concerne la réduction des actinides dans les déchets et les aspects technologiques. La formule RNR-TRU peut évoluer progressivement pour devenir une stratégie exclusivement fondée sur des RNR, mais elle exige un investissement initial élevé dans les technologies des réacteurs à neutrons rapides et des cycles du combustible de type avancé. La formule systèmes hybrides-AM confine les actinides mineurs dans un petit flux

Figure 1. Cycles du combustible envisagés dans l'étude



secondaire du cycle du combustible, mais elle exige une technologie très novatrice à cet effet. Le système hybride présente l'avantage de pouvoir incinérer des actinides mineurs purs tout en évitant une dégradation des caractéristiques de sûreté du cœur.

Il ressort de l'analyse économique que les coûts de l'électricité dans les scénarios de transmutation fondés sur les systèmes hybrides peuvent être améliorés en incinérant autant de plutonium que possible dans des réacteurs classiques, c'est-à-dire des REO et des RNR alimentés en combustible MOX. Les formules systèmes hybrides-AM et RNR-TRU présentent les coûts de l'électricité les plus faibles de toutes les formules envisagées. Dans ces deux formules, on estime que la séparation et la transmutation entraîne un surcoût relativement modeste de 10 à 20 % des coûts de production de

l'électricité, par rapport au cycle du combustible à passage unique.

Alors que la compétitivité sur les marchés actuels de l'électricité n'est pas compatible avec une majoration quelconque des coûts de production de l'électricité d'origine nucléaire, les surcoûts liés à la séparation et à la transmutation peuvent devenir acceptables à l'avenir dans le contexte de politiques énergétiques intégrant des objectifs de développement durable et prenant en compte le prix que la société attache à la réduction de la radiotoxicité des déchets. En outre, à long terme, une hausse de quelque 10 à 20 % des prix de l'électricité d'origine nucléaire pourrait être largement contrebalancée par les augmentations des prix des combustibles fossiles imputables à l'épuisement des ressources et/ou à la réglementation en matière de protection de l'environnement.

L'introduction et l'abandon progressif des systèmes électronucléaires impliquent par nature de très longues périodes de transition imputables aux limitations matérielles liées à la production et à la destruction des inventaires de combustible se trouvant à l'intérieur et à l'extérieur des réacteurs. En conséquence, pour parvenir à la réduction d'un facteur cent de la radiotoxicité à long terme des déchets par l'introduction de la technologie de séparation et de transmutation, il faut un engagement pour une durée d'au moins un siècle. En particulier, ses avantages ne pourront se concrétiser pleinement que si l'inventaire de TRU du système est en définitive incinéré et non mis au rebut. Dans ce contexte, il faut signaler que la stratégie systèmes hybrides-TRU se caractérise par un inventaire de TRU réduit en régime permanent et que, dans un scénario de sortie progressive du nucléaire, elle permet d'incinérer cet inventaire plus rapidement que les autres stratégies.

Alors que les performances des RNR et des systèmes hybrides sont analogues en ce qui concerne les critères de respect de l'environnement, on note des différences considérables du point de vue de la technologie, de l'exploitation et de la sûreté. La mise au point de la technologie du cycle du combustible constitue cependant le critère primordial si l'on veut concrétiser les avantages de la séparation et de la transmutation, quel que soit le système utilisé. Les défis en matière de cycle du combustible sont une conséquence directe de l'objectif de la transmutation, qui implique la contamination du cycle du combustible par de fortes concentrations d'actinides mineurs. La question centrale est le retraitement du combustible, mais la fabrication, la manutention et le transport du combustible posent aussi de nouveaux problèmes.

Les systèmes de transmutation mettent en jeu des combustibles inhabituels caractérisés par de fortes chaleurs de décroissance et une forte émission de neutrons. D'importants travaux sont requis pour démontrer que ces combustibles peuvent être fabriqués et retraités et pour étudier leur comportement. Les combustibles des systèmes hybrides sont particulièrement enrichis en actinides mineurs et ne peuvent probablement être retraités que par des méthodes pyrochimiques. Or, ces méthodes doivent encore être perfectionnées pour pouvoir supporter des chaleurs de décroissance dix à plus de vingt fois supérieures aux niveaux rencontrés lors du retraitement pyrochimique des combustibles des réacteurs à neutrons rapides.

L'introduction à l'échelle industrielle des technologies de retraitement pyrochimiques passe par la mise au point de nouveaux schémas de procédé et

le recours à des réactifs éventuellement très corrosifs dans des environnements hostiles. D'où de nouveaux dangers chimiques et radiologiques contre lesquels il faudra prendre des mesures.

Le procédé aqueux de retraitement PUREX peut être considéré comme valable pour le combustible MOX des RNR dans les formules d'incinération du plutonium et les formules à double strate. Le retraitement de ce combustible après un court temps de refroidissement et avec les rendements élevés de séparation exigés, nécessitera cependant une amélioration du rendement de dissolution du plutonium et une modification du procédé PUREX.

En raison de la forte radioactivité du combustible MOX des RNR, des mesures s'imposent pour limiter les doses de rayonnement dans l'usine de fabrication et durant le transport des assemblages combustibles. Les exigences accrues en matière de blindage et la préférence marquée pour des itinéraires de transport brefs dans le cas des combustibles multirecyclés, plaident en faveur du retraitement pyrochimique sur le site même du réacteur.

Les besoins de retraitement pyrochimique dans la formule exclusivement fondée sur les RNR sont supérieurs à ceux des formules avec transmutation. Cela tient à la nécessité de loger dans le même barreau le combustible nourricier et la couverture fertile et de mélanger les deux composants avant le traitement. Le mélange offre l'avantage d'atténuer la chaleur de décroissance du combustible à retraiter et de renforcer la résistance du système à la prolifération, mais il impose un rythme rapide de production de combustible avec les conséquences économiques que cela suppose. Cette pénalité économique pourrait être allégée si la couverture était séparée du combustible nourricier et retraitée par les procédés PUREX ou UREX. Il est manifeste que, du seul point de vue de la chaleur de décroissance, il serait préférable d'éviter la stratégie de transmutation et de passer directement à une stratégie fondée sur les réacteurs à neutrons rapides.

Si les travaux de mise au point visant le cycle du combustible sont utiles pour les scénarios de transmutation fondés tant sur les RNR que sur les systèmes hybrides, ces derniers nécessitent des activités de R-D supplémentaires. Le système hybride sous-critique permet de concevoir des cœurs de réacteurs dont les caractéristiques de fonctionnement ne seraient pas satisfaisantes dans le cas de systèmes critiques et admet une plus grande marge de réactivité avant d'atteindre la criticité instantanée, réduisant ainsi les possibilités d'excursion de puissance du cœur. Il faut mettre ces avantages en balance avec les défis techniques que représentent le couplage d'un réacteur et d'un

accélérateur et la nécessité de prendre en charge de nouveaux types de transitoires d'exploitation et d'accidents.

Bien que la mise au point des accélérateurs ait progressé, puisqu'il paraît désormais possible d'utiliser des faisceaux de 10 MW dans le cas des cyclotrons et de 100 MW dans celui des accélérateurs linéaires, les pertes de faisceau, et surtout, la fréquence des instabilités de faisceau doivent encore être réduites si l'on veut remplir les critères d'activation, de fluctuation rapide de la température et de contraintes mécaniques pour des structures sensibles. Il faut encore approfondir divers problèmes liés au couplage de l'accélérateur au réacteur, en particulier à la cible et à la fenêtre du faisceau.

Le pilotage d'un système hybride à l'aide de la puissance du faisceau plutôt que par un système de compensation de la réactivité utilisant un absorbeur, limite les possibilités de transitoires de réactivité dans le cœur. Dans un incinérateur de transuraniens sous-critique, cependant, cet avantage doit être mis en balance avec la pénalité économique imputable à la perte de réactivité aux taux de combustion élevés, ce qui exige d'augmenter l'intensité du faisceau pour maintenir la puissance à la fin du cycle en réacteur. La comparaison est compliquée, car elle implique aussi que l'on puisse mettre en balance les exigences de sûreté des deux systèmes de pilotage.

Contrairement au comportement des cœurs sous-critiques en régime permanent, leur réponse à des transitoires de réactivité ou à des transitoires touchant les sources n'a pas encore été étudiée sous tous ses aspects. La présence d'une source externe de neutrons, qui peut varier très rapidement, associée au fait que la contre-réaction de la réactivité soit très faible, implique des réactions très brusques et violentes (suivant le niveau de sous-criticité) à des instabilités de l'accélérateur et à des actions de contrôle, ce qui impose des contraintes supplémentaires pesant sur les mécanismes de commande, le comportement du combustible et les procédés d'évacuation de la chaleur. L'étude des mécanismes de contre-réaction dans l'accélérateur couplé, la cible et le cœur sous-critique revêt par conséquent de l'importance.

La mise au point de réacteurs et de cycles du combustible de type avancé et leur introduction au plan industriel et commercial exigeront de très long délais de réalisation. Afin de maintenir ouverte l'option de la séparation et de la transmutation, il faudra poursuivre les travaux de R-D visant les réacteurs à neutrons rapides critiques et sous-critiques, les combustibles de type avancé, les matériaux de structure et les réfrigérants, ainsi que

les cibles d'irradiation contenant des éléments transmutables, en privilégiant des domaines essentiels (voir l'encadré).

### Domaines essentiels de R-D sur la séparation et la transmutation

*Des travaux de R-D devraient être poursuivis dans les domaines essentiels suivants si l'on veut maintenir ouverte l'option de la séparation et de la transmutation :*

- *expérimentation sur la caractérisation, la fabrication, l'irradiation et le retraitement du combustible ;*
- *démonstration à l'échelle industrielle des performances des procédés pyrochimiques, afin d'affiner l'évaluation de la viabilité technico-économique des diverses options en matière de cycle du combustible ;*
- *évaluation comparative des différents réfrigérants utilisables pour des systèmes à spectres neutroniques rapides ;*
- *mise au point d'outils améliorés de modélisation permettant de simuler le comportement des matériaux dans diverses conditions d'irradiation et à hautes températures ;*
- *analyses de sûreté des systèmes hybrides afin d'étudier les mécanismes pouvant aboutir à des accidents hypothétiques de dislocation du cœur, si l'éventualité de tels accidents ne peut être exclue de manière déterministe ;*
- *expériences de démonstration en vue de valider le concept du système hybride sous l'angle de l'exploitation et de la sûreté, dans le cas des pays entreprenant des schémas basés sur des systèmes hybrides.*

Enfin, pour apprécier la pertinence de la séparation et de la transmutation en tant qu'option à long terme pour l'élimination des déchets radioactifs, il est nécessaire de procéder à une analyse approfondie des performances des dépôts géologiques pour différentes compositions des DHA, autrement dit avec ou sans actinides mineurs. Une telle vision intégrée des systèmes d'énergie nucléaire est essentielle pour déterminer si les avantages de la séparation et de la transmutation peuvent l'emporter sur les investissements technologiques et financiers requis. ■

### Référence

1. AEN (2002), *Accelerator-driven Systems (ADS) and Fast Reactors (FR) in Advanced Nuclear Fuel Cycles: A Comparative Study* [Les systèmes hybrides et les réacteurs à neutrons rapides (RNR) dans les cycles de combustible nucléaire de type avancé : étude comparative], OCDE, Paris.

# Établissement du dossier de sûreté des dépôts géologiques profonds

Ces dernières années, il est devenu de plus en plus évident que l'aménagement d'un dépôt géologique comportera un certain nombre d'étapes ponctuées par des décisions indépendantes pour savoir s'il y a lieu de passer à l'étape suivante et de quelle manière. Ces décisions se basent sur une présentation claire et tracée des arguments techniques, qui apporteront la confiance dans la faisabilité et la sûreté du concept envisagé. Le caractère approfondi des connaissances et des informations techniques disponibles pour étayer les décisions variera selon les étapes. Un dossier de sûreté constitue une base importante pour décider de passer à l'étape suivante de l'aménagement d'un dépôt.

La notion de « dossier de sûreté »<sup>1</sup> a progressivement été clarifiée à travers une série d'initiatives prises par l'AEN au cours de la décennie écoulée, dont le point culminant a été la publication du rapport intitulé *Confidence in Long-term Safety of Deep Geological Repositories* (Confiance dans la sûreté à long terme des dépôts géologiques profonds) (AEN, 1999) et les résultats de trois séries d'études du Groupe de travail sur les évaluations intégrées des performances des dépôts profonds (IPAG)<sup>2</sup>.

L'action de l'IPAG a débuté en 1994 dans le but de fournir un forum international pour l'examen de l'état général des dossiers de sûreté afférents à l'évacuation des déchets radioactifs en grande profondeur et des études d'évaluation intégrée des performances (EIP) associées. Les travaux ont été

menés en trois phases : l'IPAG-1 de 1995 à 1996, l'IPAG-2 de 1997 à 1998 et l'IPAG-3 de 1999 à 2000. Le nombre des organisations nationales participant à ces travaux est passé de dix pour IPAG-1 à vingt dans le cas d'IPAG-3, preuve de l'intérêt croissant porté au dossier de sûreté. Les résultats obtenus par l'IPAG et les compilations des questions et réponses afférentes à chaque étude de l'IPAG, constituent une synthèse et une base de données utiles sur les dossiers de sûreté nationaux.

## IPAG-1 : enseignements tirés de dix études d'évaluation intégrée des performances

L'étude IPAG-1 avait pour objectif d'examiner les études d'EIP réalisées, se basant sur une somme de faits observés afin d'évaluer l'état actuel de l'évaluation des performances<sup>3</sup>. Sur la base de l'examen de dix études d'évaluation des performances, il a été noté qu'aucun nouveau problème insurmontable n'avait été rencontré dans l'application de l'évaluation des performances depuis la publication de l'Opinion collective internationale AEN/AIEA/CCE<sup>4</sup> de 1991. Les progrès suivants ont par ailleurs été observés depuis 1991 :

- une meilleure identification des « caractéristiques, événements et processus » (FEPs) pertinents et un suivi des décisions visant le traitement et l'intégration de ces FEPs dans les modèles d'évaluation ;
- le recours à des bases de données relatives aux sites et à des méthodes plus structurées de réduction des données en vue de leur utilisation dans des modèles d'évaluation ;
- une utilisation plus élaborée des programmes de calcul et des données géochimiques afin de simuler la composition et l'évolution de l'eau

\* M. Doug Metcalfe (mél : metcalfed@cnsccsn.gc.ca) de la Commission canadienne de la sûreté nucléaire, a été le président des deux dernières phases d'IPAG. M. Claudio Pescatore (mél : pescatore@nea.fr) et Mme Sylvie Voinis (mél : sylvie.voinis@oecd.org) ont assuré le secrétariat de l'ensemble du projet IPAG. Ils sont tous les deux membres de la Division de la protection radiologique et de la gestion des déchets radioactifs.

interstitielle, de manière à établir la spéciation des radionucléides et leur solubilité ;

- l'utilisation de modèles tridimensionnels d'écoulement des eaux souterraines tenant compte de la variabilité spatiale des propriétés hydrogéologiques du site, incluant la densité variable et les effets transitoires ;
- une meilleure compréhension du transport des contaminants à travers des roches fissurées et des roches non saturées ;
- des modèles améliorés de processus spécifiques, par exemple, le volcanisme et ses effets, le traitement des matières colloïdales, les rejets gazeux ;
- une utilisation plus élaborée des programmes de calcul probabilistes comprenant une représentation des processus et des événements dépendants du temps ;
- l'application de procédures plus rigoureuses d'assurance de la qualité aux décisions d'évaluation, au contrôle des ensembles d'entrées-sorties, et à la mise au point de programmes de calcul ;
- l'intégration d'une connaissance qualitative dans les arguments visant la sûreté à long terme.

Les participants à cette étude ont aussi cerné des domaines appelant des améliorations, à savoir :

- Les EIP devraient s'efforcer de fournir un relevé clair et complet des décisions prises et des hypothèses adoptées ainsi que des modèles et données utilisés pour parvenir à un ensemble déterminé de résultats (améliorer la traçabilité).
- Les EIP devraient être documentées de telle manière que les lecteurs puissent avoir une vue d'ensemble claire de ce qui a été fait, des résultats de l'évaluation et de leur importance, ainsi que du bien-fondé des résultats obtenus (améliorer la transparence).
- Il conviendrait de renforcer la coordination entre la caractérisation du site et l'évaluation des performances, notamment de mieux expliquer le processus utilisé pour sélectionner les valeurs des paramètres du modèle de géosphère fondées sur les données relatives au site.
- La gestion des incertitudes devrait prendre en compte les scénarios, les modèles et les paramètres, ainsi que la question de l'exhaustivité de leur analyse.
- Il conviendrait de clarifier la terminologie, autrement dit ce que l'on entend par « évaluation » et « analyse » des performances ainsi que « évaluation », « analyse » et « dossier de sûreté », et expliquer clairement les définitions de ces termes, tels qu'ils sont utilisés dans les EIP.

### IPAG 2 : Examens réglementaires des évaluations des dépôts profonds

L'étude IPAG-2 a fait le point de l'expérience internationale des examens par des pairs des

évaluations intégrées des performances et plus particulièrement des examens effectués en appui de l'évaluation réglementaire, du point de vue tant des autorités de sûreté que des exploitants<sup>5</sup>. Les enseignements tirés de l'IPAG-2 ont notamment été les suivants :

- En ce qui concerne la conduite d'un examen, l'existence d'un dialogue est importante et présente des avantages tant pour les exploitants que pour les autorités de sûreté. Les exploitants et les autorités de sûreté devraient examiner les méthodes permettant de maintenir un dialogue qui soit profitable au processus de préparation et d'examen des EIP et qui préserve dans le même temps l'indépendance des deux parties. Le fait de mettre à la disposition du public les enregistrements écrits et la documentation issus de ce dialogue, pourrait améliorer la crédibilité générale du processus.
- Quant au dossier de sûreté, les participants ont constaté les avantages offerts par un recours à une argumentation multiple et à une variété de techniques d'évaluation pour apprécier la sûreté. Ils ont aussi observé qu'un meilleur usage pourrait être fait des informations qualitatives, dans un dossier de sûreté, en particulier pour illustrer et décrire la sûreté intrinsèque propre au site et à la conception du dépôt. L'utilisation de méthodes complémentaires pour démontrer la sûreté globale du système d'évacuation contribuera à susciter la confiance dans le dossier de sûreté. L'étude a confirmé que le concept des barrières multiples constitue l'une des bases essentielles de la sûreté à long terme des systèmes d'évacuation à grandes profondeurs dans les formations géologiques ; les exploitants doivent expliquer clairement dans leurs EIP comment ils ont utilisé et appliqué ce concept dans l'élaboration de leur modèle de dépôt.
- Dans le prolongement des travaux exécutés dans le cadre de l'IPAG-1 sur la traçabilité et la transparence, l'IPAG-2 a recommandé que les EIP établies à des fins d'autorisation soient traçables, reproductibles et à la disposition du public. L'un des aspects de la réalisation de la traçabilité et de la compréhension entre les exploitants et les autorités de sûreté est la cohérence des méthodes, de la structure et du mode de présentation de la documentation. D'autres parties prenantes peuvent procéder aussi à des examens des évaluations intégrées des performances et ont des besoins différents en matière de traçabilité et de transparence. Il est nécessaire d'intégrer leurs points de vue. Les orientations d'ordre réglementaire devraient indiquer clairement les exigences et les attentes s'agissant d'apporter la démonstration du respect des critères réglementaires.

### IPAG-3 : Méthodes et arguments en vue d'établir et de faire partager la confiance dans la sûreté

L'étude IPAG-3 s'est axée sur l'évaluation de l'état de la technique permettant de gagner, de présenter et de démontrer la confiance dans la sûreté à long terme, et de formuler des recommandations sur les orientations et initiatives futures en vue d'améliorer la confiance<sup>6</sup>. Elle s'est intéressée plus particulièrement aux arguments requis pour asseoir la confiance tant dans la sûreté intrinsèque que dans l'évaluation des performances à long terme du système d'évacuation. Les arguments essentiels ont été recensés et classés en six catégories, comme suit :

- confiance dans le système d'évacuation proposé (étayée par la robustesse intrinsèque du système à barrières multiples et par des comparaisons avec des exemples « familiers » et des analogues naturels) ;
- confiance dans les données et la connaissance du système d'évacuation (par exemple, la qualité du programme de recherche et des études de sites, les procédures d'assurance de la qualité) ;
- confiance dans la méthode d'évaluation (renforcée par une méthode d'évaluation logique, claire et systématique et une évaluation exécutée dans un cadre vérifiable) ;
- confiance dans les modèles d'évaluation (vérification des modèles par rapport aux expériences et à des observations de la nature, exécution de comparaisons de modèles) ;
- confiance dans le dossier de sûreté et les analyses d'EIP (démontrer que les hypothèses sont représentatives ou empreintes de conservatisme, études de sensibilité) ;
- confiance par le biais du retour d'information vers la conception et la caractérisation du site (par exemple, qualité et sûreté globales du système d'évacuation).

L'IPAG-3 a également conclu que si le système à barrières multiples est commun à tous les systèmes d'évacuation, celui qui le préconise doit bien en expliquer le sens et le rôle dans chaque dossier de sûreté.

En outre, L'IPAG-3 a formulé ou confirmé des recommandations visant les aspects essentiels suivants :

- La principale gageure, dans le cas de tout dossier de sûreté et de l'EIP associé, est de traiter les incertitudes inévitables qui résultent des longues échelles de temps mises en jeu. Dans une EIP, il est nécessaire de traiter de telles incertitudes d'une manière exhaustive et de montrer que, sur la base des données et informations disponibles, on peut escompter une

protection à long terme de la santé humaine et de l'environnement par le dépôt.

- La confiance dans les données utilisées dans le dossier de sûreté se fonde sur l'assurance que les travaux de recherche et de caractérisation du site ont été convenablement exécutés et que les données ont été correctement comprises et interprétées dans l'évaluation des performances. L'étude IPAG-3 recommande que les hypothèses essentielles et leurs justifications soient clairement énoncées dans une section spécialement conçue à cet effet du dossier de sûreté ou de la documentation de l'EIP.
- Un dossier de sûreté devrait comporter une « déclaration de confiance » clairement énoncée (comme cela était proposé dans *Confidence in the Long-term Safety of Deep Geological Repositories*) ; elle devrait expliciter clairement la manière dont les résultats se situent par rapport aux critères réglementaires pertinents. Elle pourrait établir des comparaisons avec les niveaux de rayonnements présents dans la nature et d'autres risques de la vie quotidienne, afin de situer dans leur contexte les risques radiologiques imputables au dépôt.
- Le dossier de sûreté est une question de gestion. Le retour d'information vers chaque partie du dossier de sûreté, par exemple la conception et la caractérisation du site, est possible si cela est planifié et géré pendant le processus de développement du dépôt.

Les trois exercices d'IPAG ont couvert un ensemble varié de programmes d'évacuation des déchets, de concepts en matière d'évacuation et de milieux géologiques, de même que différents types et quantités de déchets. Ils ont offert une occasion unique d'échanger des informations, d'évaluer les progrès réalisés et de cerner les évolutions. On trouvera de plus amples informations concernant l'IPAG et ses rapports à l'adresse suivante : [www.nea.fr/html/rwm/ipag.html](http://www.nea.fr/html/rwm/ipag.html). ■

#### Notes

1. Un dossier de sûreté est un ensemble d'arguments formulés à une étape donnée de l'aménagement d'un dépôt, à l'appui de la sûreté à long terme du dépôt. Il comprend les conclusions d'une évaluation de la sûreté et une affirmation de la confiance dans ces conclusions. Il doit reconnaître l'existence des éventuels problèmes non résolus et fournir des orientations visant les travaux à mener en vue de résoudre ces problèmes au cours des étapes ultérieures de l'aménagement.
2. Les trois études de l'IPAG ont permis d'établir les rapports mentionnés dans les notes 3, 5 et 6.
3. AEN (1997), *Lessons Learnt from Ten Performance Assessment Studies (Enseignements tirés de dix études d'évaluation des performances)*, OCDE/AEN, Paris.
4. AEN (1991), *Évacuation des déchets radioactifs : peut-on évaluer la sûreté à long terme ? Une opinion collective internationale*, OCDE/AEN, Paris.
5. AEN (2000), *Évaluation des dépôts géologiques profonds dans un contexte réglementaire : Enseignements tirés*, OCDE, Paris.
6. AEN (2002), *Établir et faire partager la confiance dans la sûreté des dépôts en grande profondeur : Approches et arguments*, OCDE, Paris.

# Nouvelles brèves

## Forum sur la confiance des parties prenantes (FSC)

Les échanges entre les institutions impliquées dans l'énergie nucléaire et la société civile ne sont plus strictement régis par des mécanismes juridiques rigides. Une interaction plus complexe s'installe désormais entre les protagonistes aux échelons national, régional et surtout local, et on voit se dessiner une vision plus large et plus réaliste du processus de décision, faisant intervenir un large éventail d'acteurs de la société civile. Toute décision importante concernant la gestion à long terme des déchets radioactifs est aujourd'hui précédée d'enquêtes publiques approfondies auxquelles participent une grande diversité de parties concernées de la société civile. Ces acteurs ne sont pas seulement les producteurs de déchets, les agences de gestion des déchets et les autorités réglementaires, toutes entités pour lesquelles l'aspect technique est primordial, mais également des représentants de la société civile qui ne mettent pas la technique au premier rang tels que les collectivités locales, les élus, les organisations non gouvernementales et la population en général. Le Forum sur la confiance des parties prenantes (FSC) de l'AEN facilite la mise en commun de l'expérience acquise au plan international en abordant la dimension sociétale de la gestion des déchets radioactifs, étudie des mécanismes permettant la tenue d'un véritable dialogue avec le public et analyse les moyens de renforcer la confiance dans les processus de décision.

Le Forum a été mis en place en vertu d'un mandat du Comité de la gestion des déchets radioactifs (RWMC). Le FSC tient une série de sessions ordinaires, complétées par des ateliers organisés dans un cadre national. Les sessions annuelles prévoient des débats thématiques sur des questions d'intérêt spécifique et sont mises à profit pour approfondir les enseignements tirés de l'expérience. Lors de la dernière réunion en

date d'avril 2002, la session thématique a été axée sur l'évaluation de l'impact sur l'environnement comme moyen de faire participer les divers secteurs concernés de la société civile. Les ateliers, également de fréquence annuelle, mettent l'accent sur l'engagement des parties prenantes dans le traitement des questions liées à la gestion des déchets à l'intérieur du pays hôte. Un large éventail de représentants de la société civile du pays hôte sont invités à donner leur opinion sur le projet et la nature de leur participation dans le processus de décision. Les ateliers privilégient les échanges d'idées et tous les points de vue sont consignés de façon circonstanciée dans le compte rendu des débats des ateliers.

Le Forum a débuté en août 2000 à Paris par un atelier international. Une variété de thèmes y ont été abordés allant des nouvelles modalités de la démocratie participative, de la définition des acteurs et de la confiance dans le cadre institutionnel, au rôle d'un dialogue ouvert sur tous les aspects de la gestion des déchets radioactifs. Pendant les trois journées qu'a duré la réunion, les participants réunissant compétences techniques et connaissances en sciences sociales ont dressé le bilan à l'échelle mondiale de l'expérience acquise concernant la confiance des parties prenantes et le stockage des déchets radioactifs. Dans la liste des organismes participants figuraient des universités, des académies nationales, des organes de supervision techniques, des autorités en matière de sûreté, des agences d'exécution et des organes consultatifs auprès des gouvernements. En outre, un maire suédois et un parlementaire français ont pris la parole pendant la cérémonie d'ouverture.

Le premier atelier tenu dans un cadre national a été organisé en Finlande, en novembre 2001. Comme dans la première rencontre, tous les représentants de la société civile – depuis l'échelon



Installation de conversion d'uranium à Port Hope, Canada, ainsi que ses environs résidentiels.

local jusqu'à l'échelon national – ont pu analyser selon un processus très interactif l'enchaînement des décisions qui ont conduit en dernier ressort à l'approbation par le Parlement en mai 2001 de l'implantation d'un dépôt de combustible irradié dans la municipalité d'Eurajoki. Bien que l'expérience et les enseignements tirés aient été très liés au contexte et à la culture nationale, les grandes lignes d'un processus efficace de prise de décision par étapes ont pu également être dégagées. En particulier, les participants à l'atelier ont remarqué que :

- les parties prenantes devraient avoir la possibilité de participer dès le début du processus du choix du site ;
- l'intérêt du public dans la participation ne peut être maintenu que si les parties prenantes croient qu'elles peuvent avoir une influence sur les décisions clés ;
- un dialogue constant entre les agences de gestion des déchets responsables de la mise en œuvre et la population concernée est capital.

L'atelier avait été précédé par une rencontre avec la municipalité d'Eurajoki au cours de laquelle avaient été examinées les valeurs ainsi que les politiques et la situation économique de la collectivité concernée.

Le second atelier, associé à la visite d'un site, s'est tenu au Canada en octobre 2002. Les deux dernières années ont été mises à profit au Canada pour réfléchir à la gestion des déchets radioactifs. En mars 2001, le gouvernement et trois collectivités territoriales dans le sud de l'Ontario sont parvenus à un accord portant sur la dépollution et la gestion à l'échelon local des déchets radioactifs provenant des activités de raffinage et de conversion réalisées

dans le passé. En juin 2002, le projet de *Loi sur les déchets de combustible nucléaire* a été voté, ce qui a permis au Canada d'avancer effectivement sur la voie d'une solution concernant la gestion à long terme des déchets de combustible nucléaire, notamment le choix d'une méthode technique à mettre en œuvre par les détenteurs de déchets, la détermination des responsabilités financières de ceux-ci et les processus de supervision des pouvoirs publics. Trois thèmes d'études clés ont été examinés. À savoir, quelles sont les préoccupations sociales en jeu ; comment ces préoccupations vont-elles être abordées et les avantages éventuels pour le développement des collectivités locales. La visite du site a permis aux délégués au FSC de s'informer de première main sur le processus de décision pour la dépollution finale et la gestion des résidus de traitement à Port Hope, Ontario. L'atelier, auquel a participé un large éventail de parties prenantes canadiennes, a permis à ces derniers ainsi qu'au FSC d'analyser et d'évaluer la solution adoptée à Port Hope ainsi que le programme à plus long terme de la gestion des déchets de combustible nucléaire. Les débats ont été riches d'informations pour les membres du FSC et les parties prenantes canadiennes, et ils devraient aider le Canada dans la réalisation des prochaines étapes. Le compte rendu des débats de la réunion est actuellement en cours d'établissement : un exposé de synthèse sera placé sous peu sur le site web de l'AEN.

D'autres ateliers et réunions ordinaires du FSC sont prévus, de même que des publications qui résumeront les enseignements tirés. Pour de plus amples informations concernant le FSC et les rapports disponibles, consultez le site [www.nea.fr/html/rwm/fsc.html](http://www.nea.fr/html/rwm/fsc.html). ■

# Le Forum international Génération IV et l'AEN : nouvelles récentes

Depuis la précédente édition d'*AEN Infos*, le Forum international Génération IV (GIF) a fait quelques pas importants. Le plus notable est l'achèvement du plan de développement des technologies de Génération IV, avec pour principaux résultats :

- la sélection de six systèmes nucléaires de Génération IV, considérés comme les plus prometteurs pour atteindre les huit objectifs assignés à la Génération IV ;
- l'identification des travaux de R-D nécessaires pour amener ces systèmes au stade d'une commercialisation éventuelle.

Les six systèmes sélectionnés sont décrits dans le tableau ci-dessous.

Par « système » il faut entendre un ensemble comprenant non seulement le réacteur nucléaire proprement dit et son îlot classique, mais aussi l'ensemble du cycle du combustible connexe.

Pour chaque système, on a déterminé dans le plan de développement les lacunes techniques dans les connaissances actuelles et les technologies clés à mettre au point. En septembre dernier à Tokyo, les pays membres du GIF ont indiqué, à titre préliminaire pour chaque système, l'intérêt qu'ils portent à des travaux de R-D en collaboration. Un pays pilote a été désigné afin de faciliter la poursuite des échanges de vues entre pays intéressés, et notamment pour définir plus précisément le périmètre de chaque projet de R-D à entreprendre dans le cadre du GIF.

L'organisation de la R-D du GIF associera deux aspects :

- les projets spécifiques de R-D visant à mettre au point et/ou à démontrer les technologies clés pour chaque système sélectionné ;

- une intégration et une évaluation continues du système afin d'en vérifier la viabilité et les performances compte tenu des bons résultats ou des difficultés de la mise au point des technologies clés et de l'actualisation des indicateurs quantitatifs utilisés dans le processus de sélection des systèmes.

Naturellement, seuls les pays bailleurs de fonds participeront à la gestion des projets particuliers de R-D et seront propriétaires des technologies résultantes. Les Comités techniques en charge de l'intégration et de l'évaluation des systèmes auront la même composition que le GIF.

Lors de la réunion de Tokyo mentionnée plus haut, le GIF a demandé à l'AEN d'assurer le secrétariat technique de ses prochaines activités de R-D. Il s'agirait du secrétariat des projets spécifiques de R-D, des Comités techniques et du Groupe d'experts du GIF pour ses tâches techniques. Cette requête s'inscrit dans le prolongement de la participation très efficace de l'AEN à la phase du plan de développement, et tient compte de l'expérience de l'AEN dans les projets conjoints de R-D et le fonctionnement des comités internationaux.

Lors de sa session d'octobre 2002, le Comité de direction de l'AEN a été informé de ce nouveau rôle susceptible d'être confié à l'AEN, conforme aux missions de l'Agence et aux orientations décrites précédemment lorsqu'elle s'est engagée dans le plan de développement des technologies de Génération IV. Cette activité de l'AEN serait entièrement financée par des contributions volontaires. ■

**Les six systèmes sélectionnés dans le plan de développement des technologies de Génération IV**

Systèmes sélectionnés	Acronyme anglais	Spectre	Cycle du combustible
RNR refroidi par gaz	GFR	Rapide	Fermé
RNR refroidi par alliage de plomb	LFR	Rapide	Fermé
Réacteur à sels fondus	MSR	Thermique	Fermé
RNR refroidi par sodium	SFR	Rapide	Fermé
Réacteur à eau surcritique	SCWR	Thermique et rapide	Ouvert et fermé
Réacteur à très haute température	VHTR	Thermique	Ouvert

# Nouvelles publications

## Aspects économiques et techniques du cycle du combustible nucléaire

---



### Données sur l'énergie nucléaire – 2002

ISBN 92-64-09899-2 – Prix : € 20, US\$ 20, £ 13, ¥ 2 350.

Les *Données sur l'énergie nucléaire*, publiées annuellement par l'Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire, présentent des statistiques de base sur le nucléaire dans l'OCDE, ainsi que des informations graphiques et textuelles nouvelles par rapport aux éditions précédentes. Cet ouvrage offre un aperçu complet et facile à consulter de la situation et des tendances dans le secteur électronucléaire, y compris le cycle du combustible. Il constitue une source de données de référence qui intéressera les décideurs, les experts et les chercheurs dans le domaine de l'énergie nucléaire.



### L'énergie nucléaire et le Protocole de Kyoto

ISBN 92-64-28486-9 – Gratuit sur demande.

La mise en œuvre du Protocole de Kyoto et l'application de ses mécanismes de flexibilité sont au premier plan des débats de politique énergétique dans la plupart des pays de l'OCDE. Le rôle que l'énergie nucléaire est susceptible de jouer dans ce contexte est envisagé de façon diverse, et sur la base de critères différents, par les parties prenantes des gouvernements et de la société civile en fonction de leurs intérêts et de leurs priorités respectives. Cet ouvrage présente des informations clés sur l'énergie nucléaire et le Protocole de Kyoto. Il met en lumière les défis et les opportunités associés au développement futur de l'énergie nucléaire dans le contexte de la mise en œuvre du Protocole de Kyoto et plus largement dans la lutte contre les risques de changement climatique global.



### Uranium 2001 : Ressources, production et demande

ISBN 92-64-29823-1 – Prix : € 85, US\$ 74, £ 52, ¥ 9 850.

Le « Livre rouge », établi conjointement par l'Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire et l'Agence internationale de l'énergie atomique, est un ouvrage de référence sur l'uranium faisant autorité au plan mondial. Ce rapport s'appuie sur des données statistiques officielles émanant de 45 pays, ainsi que sur des informations officielles concernant deux autres pays.



### Accelerator-driven Systems (ADS) and Fast Reactors (FR) in Advanced Nuclear Fuel Cycles

En anglais seulement

A Comparative Study

ISBN 92-64-18482-1 – Gratuit sur demande.



## Société et énergie nucléaire : vers une meilleure compréhension

ISBN 92-64-28494-X – Gratuit sur demande.

Ce rapport s'appuie sur une analyse approfondie de travaux de recherche et d'ouvrages publiés sur la perception des risques, la communication à leur sujet, la participation du public à l'élaboration des politiques et à la prise de décision, ainsi que l'évolution de l'opinion du public vis-à-vis de l'énergie nucléaire. Il intéressera les décideurs, les agences gouvernementales et l'industrie.

## Radioprotection

---



### ISOE – Information System on Occupational Exposure

Ten Years of Experience

En anglais seulement

ISBN 92-64-18480-5 – Gratuit sur demande.

### Occupational Exposures at Nuclear Power Plants

Eleventh Annual Report of the ISOE Programme, 2001

En anglais seulement

ISBN 92-64-18492-9 – Gratuit sur demande.



### Vers un nouveau système de protection radiologique

Rapport d'un Groupe d'experts

ISBN 92-64-28489-3 – Gratuit sur demande.

Pratiquement toutes les réglementations et tous les standards de protection radiologique nationaux et internationaux sont fondés sur les recommandations publiées par la Commission internationale de protection radiologique (CIPR). De nouvelles recommandations, qui remplaceraient celles éditées en 1990, sont actuellement développées avec une date de parution prévue en 2005. Ce rapport, qui s'appuie sur une étude préliminaire de deux ans, propose des améliorations spécifiques qui faciliteraient la compréhension et l'application du système de protection radiologique et qui devraient être considérées lors de la rédaction des nouvelles recommandations de la CIPR.

## Gestion des déchets radioactifs

---



### Déclassement et démantèlement des installations nucléaires

État des lieux, démarches, défis

ISBN 92-64-28488-5 – Gratuit sur demande.

Cet ouvrage, à l'intention d'un large public, présente une synthèse de la situation du déclassement et du démantèlement des installations nucléaires ainsi que des questions connexes dans les pays membres de l'AEN. Il s'appuie sur un ensemble de fiches d'information fournies par les pays membres et disponibles en ligne sur le site web de l'AEN.



### Stepwise Decision Making in Finland for the Disposal of Spent Nuclear Fuel

Workshop Proceedings, Turku, Finland, 15-16 November 2001

En anglais seulement

ISBN 92-64-19941-1 – Prix : € 45, US\$ 45, £ 28, ¥ 5 250.



### Bulletin de droit nucléaire n° 69

Abonnement 2002 (2 numéros + suppléments) – ISSN 0304-3428 – Prix : € 75, US\$ 80, £ 48, ¥ 9 550.

Considéré comme l'ouvrage de référence en la matière, le *Bulletin de droit nucléaire* est une publication internationale unique en son genre où juristes et universitaires peuvent trouver une information à jour sur l'évolution de ce droit. Publié deux fois par an en anglais et en français, il rend compte du développement des législations dans une soixantaine de pays du monde entier et tient le lecteur informé de la jurisprudence, des décisions administratives, des accords bilatéraux et internationaux, et des activités réglementaires des organisations internationales, dans le domaine de l'énergie nucléaire.

Supplément au n° 69 : Roumanie, Ukraine

ISBN 92-64-29810-X – Prix : € 20, US\$ 20, £ 12, ¥ 2 300.

## Réglementation nucléaire/sûreté nucléaire

---



### Advanced Nuclear Reactor Safety Issues and Research Needs

En anglais seulement

Workshop Proceedings, Paris, France, 18-20 February 2002

ISBN 92-64-19781-8 – Prix : € 75, US\$ 65, £ 46, ¥ 8 700.

New nuclear reactor designs are expected to have a higher level of safety than current designs. As part of the efforts to achieve this, important safety issues related to the new designs need to be identified at an early stage, and research required for problem resolution defined. These proceedings bring together the papers presented at the OECD/NEA Workshop on Advanced Nuclear Reactor Safety Issues and Research Needs. Conclusions of the workshop discussions are offered at the end of the book, which will be of particular interest to all those involved in planning and designing the next generation of nuclear reactors.



### Améliorer ou maintenir le niveau de sûreté nucléaire

ISBN 92-64-28493-1 – Gratuit sur demande.

Maintenir ou améliorer le niveau de sûreté nucléaire : ce concept a souvent été discuté lors de réunions d'autorités de sûreté nucléaire dans les dernières années. Des rapports nationaux indiquent que des différences de philosophie existent parmi les pays membres de l'AEN dans leur approche réglementaire vis-à-vis des exigences faites aux exploitants de toujours maintenir ou toujours améliorer la sûreté nucléaire. Alors que le niveau de sûreté est globalement le même dans tous les pays membres, la conclusion est qu'il est très difficile de le quantifier. En pratique, toutes les approches réglementaires demandent que les améliorations soient apportées pour corriger des carences ou quand elles sont justifiées. Cette publication, basée sur les contributions des pays membres du Comité de l'AEN sur les activités nucléaires réglementaires (CANR), apporte une vue d'ensemble des approches et des philosophies en pratique actuellement dans le domaine de la réglementation, ainsi que des considérations sur quelques questions liées à la perception par le public. Ce rapport vise principalement les autorités de sûreté nucléaire ; les autorités gouvernementales, les exploitants de centrales nucléaires et le public pourraient également être intéressés.



## Avis techniques du CSIN

N° 1 : Étude probabiliste de sûreté-incendie des centrales nucléaires

N° 2 : Étude probabiliste de sûreté-séisme des installations nucléaires

ISBN 92-64-28490-7 – Gratuit sur demande.

Ces avis techniques présentent le consensus atteint par les analystes des risques et les experts des pays membres de l'AEN sur l'état de l'art actuel des études probabilistes de sûreté (EPS)-incendie pour la conception et l'exploitation des centrales nucléaires, et des EPS-séisme pour les installations nucléaires. L'objectif est de présenter clairement les opinions techniques aux décideurs de la communauté nucléaire. L'audience visée est donc en premier lieu, les autorités de sûreté nucléaire, les responsables de la recherche et les industriels. Les autorités gouvernementales, les exploitants de centrales nucléaires et le public peuvent aussi être intéressés.



## Juger les mises en conformité en matière de sûreté nucléaire : un défi au plan réglementaire

ISBN 92-64-28484-2 – Gratuit sur demande.

Les pressions économiques de la concurrence sur le marché de l'électricité ont conduit les exploitants de centrales nucléaires à rechercher des moyens d'accroître la production d'électricité et de réduire les coûts d'exploitation dans leurs centrales. Ces pressions se traduisent par des contraintes sur les organismes de réglementation, au nombre desquelles figurent le souhait des exploitants de réduire les exigences réglementaires perçues comme superflues et une résistance de ces derniers à envisager les mises en conformité en matière de sûreté voulues par l'autorité de sûreté. Le présent rapport a pour objet de décrire les situations qui peuvent donner lieu à des questions de mise en conformité en matière de sûreté et d'examiner les démarches réglementaires adoptées pour juger ces mises en conformité. Ce rapport s'adresse avant tout aux autorités de sûreté nucléaire, bien que les informations et idées présentées puissent aussi intéresser des exploitants nucléaires, d'autres organisations de l'industrie et le grand public.

## Sciences nucléaires et Banque de données



### Advanced Reactors with Innovative Fuels

En anglais seulement

Workshop Proceedings, Chester, United Kingdom, 22-24 October 2001

ISBN 92-64-19847-4 – Prix : € 130, US\$ 113, £ 79, ¥ 15 000.

A new generation of nuclear reactor designs is being developed in order to meet the needs of the 21<sup>st</sup> century. In the short term, the most important objective is to improve competitiveness in the deregulated market. For this purpose evolutionary light water reactors are being developed and promoted actively. In the longer term, other requirements related to long-term sustainability will emerge, including the need to minimise the environmental burden passed on to future generations, the need to establish sustainability of the fuel and the need to minimise stocks of separated plutonium and their accessibility. At this workshop, information on R&D activities for advanced reactor systems was exchanged and research areas in which international co-operation could be strengthened were identified, in particular the roles that could be played by existing experimental facilities and the possible needs for new infrastructure.



### International Evaluation Co-operation

En anglais seulement

Delayed Neutron Data for the Major Actinides (Volume 6)

Gratuit sur demande.



## Speciation, Techniques and Facilities for Radioactive Materials at Synchrotron Light Sources

En anglais seulement

Workshop Proceedings, Grenoble, France, 10-12 September 2000

ISBN 92-64-18485-6 – Gratuit sur demande.



## A VVER-1000 LEU and MOX Assembly Computational Benchmark

En anglais seulement

Specification and Results

ISBN 92-64-18491-0 – Gratuit sur demande.

The United States and the Russian Federation have each agreed to dispose of 34 tonnes of weapons-grade plutonium that are in surplus of their defence needs. One effective way to do this is to convert the plutonium into mixed-oxide (MOX) fuel, burn it in a nuclear reactor and produce electricity with it. The Russian Federation intends to use this MOX fuel in both fast (BN-600) and light water (VVER-1000) reactors. This report describes a benchmark study that compared the results obtained for low-enriched uranium (LEU) and MOX fuel in a VVER-1000. It contributes to the computer code certification process and to the verification of calculation methods used in the Russian Federation.



## Physics of Plutonium Recycling

En anglais seulement

Volume VI: Multiple Plutonium Recycling in Advanced PWRs

ISBN 92-64-19957-8 – Prix : € 45, US\$ 45, £ 28, ¥ 5 250.

Although the recycling of plutonium as thermal mixed-oxide (MOX) fuel in pressurised water reactors (PWRs) is now well-established on a commercial scale, many physics questions remain. The main question addressed in this report is the number of times plutonium can effectively be recycled in a PWR. This report describes in particular an exercise based on a realistic, multiple-recycle scenario, which followed plutonium through five generations of recycling in a PWR. It considered both a standard PWR design currently in use and a highly moderated design. The latter is a possible option for a dedicated, MOX-fuelled PWR in which it would be possible to optimise the moderation for plutonium. The study of these two designs in parallel has provided a better understanding of their relative merits, as well as insight into the limitations of multiple recycling and the long-term toxicity of fission products and actinides.



## Pressurised Water Reactor Main Steam Line Break (MSLB) Benchmark

En anglais seulement

Volume III: Results of Phase II on 3-D Core Boundary Condition Modelling

ISBN 92-64-18495-3 – Gratuit sur demande.

This report summarises the results contributed by international participants concerning Phase II of the exercise: a coupled 3-D neutronics/core thermal-hydraulics response evaluation using inlet and outlet core transient boundary conditions.



## The Use of Thermodynamic Databases in Performance Assessment

En anglais seulement

Workshop Proceedings, Barcelona, Spain, 29-30 May 2001

ISBN 92-64-19846-6 – Prix : € 55, US\$ 50, £ 34, ¥ 6 350.

## Où acheter les publications de l'AEN

Pour les clients en Amérique du Nord

---

### OCDE Turpin Amérique du Nord

P.O. Box 194  
Dowington, PA 19335-0194, USA  
Tél. : +1 (610) 524-5361 – Fax : +1 (610) 524-5417  
Numéro vert : +1 (800) 456-6323  
Mél : sriaz@turpinna.com

Pour les clients en Asie

---

### Centre OCDE de Tokyo

Nippon Press Center Building, 2-2-1 Uchisaiwaicho, Chiyoda-ku, Tokyo 100-0011, Japon  
Tél. : +81 (3) 5532 0021 – Fax : +81 (3) 5532 0036  
Mél : center@oecdtkyo.org – Internet : www.oecdtkyo.org

Pour les clients en Amérique latine

---

### Centre OECD de Mexico

Av. Presidente Mazaryk 526, First Floor  
C.P. 11560, Mexico D.F., Mexique  
Tél. : +52 (5) 55 281 3810 – Fax : +52 (5) 55 280 0480  
Mél : mexico.contact@oecd.org – Internet : rtn.net.mx/ocde/

Pour les clients dans le reste du monde

---

### OCDE Turpin

P.O. Box 22, Blackhorse Road  
Letchworth SG6 1YT, Royaume-Uni  
Tél. : +44 (1) 462 687552 – Fax : +44 (1) 462 480947  
Mél : books@turpinltd.com

**Commandes en ligne : [www.oecd.org/bookshop](http://www.oecd.org/bookshop)**

Paiement sécurisé par carte bancaire.

## Où commander nos publications gratuites

### Publications 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 10  
Mél : neapub@nea.fr – Internet : www.nea.fr

**Commandes en ligne : [www.nea.fr](http://www.nea.fr)**

## Offre d'emplois

## Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire



L'Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire cherche régulièrement des candidats pour des postes dans les domaines suivants :

Économie de l'énergie  
Sûreté nucléaire  
Gestion des déchets radioactifs  
Radioprotection  
Sciences nucléaires  
Droit nucléaire  
Ingénierie nucléaire  
Informatique



### Qualifications :

Diplôme universitaire pertinent ;  
expérience professionnelle de deux ou trois  
ans minimum ; excellente connaissance d'une  
des deux langues officielles de l'Organisation (anglais  
et français) et aptitude à bien rédiger dans cette langue ;  
bonne connaissance de l'autre langue.

Les postes sont ouverts aux candidats ressortissants des pays  
Membres de l'OCDE. Dans le cadre de sa politique d'égalité des  
chances, l'OCDE encourage les femmes à faire acte de candidature.

### Engagement initial :

Deux ou trois ans.

### Traitement annuel de base :

De € 52 624 (administrateur) et de € 75 458 (administrateur  
principal), à quoi s'ajoutent des allocations selon la situation de  
famille et le lieu de recrutement.

Pour plus d'informations concernant les offres d'emplois à  
l'AEN, consulter :

[www.nea.fr/html.general/jobs/index.html](http://www.nea.fr/html.general/jobs/index.html)

F I F T E E N T H E D I T I O N

# 2003 World Directory of Nuclear Utility Management

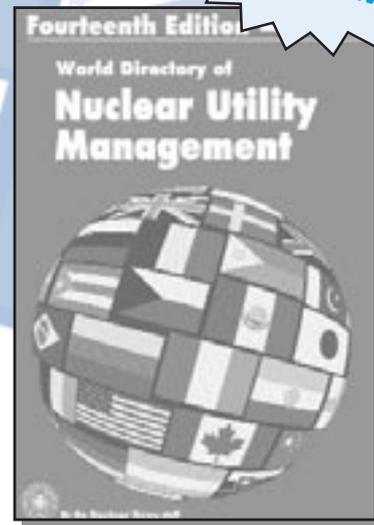
*The fifteenth edition includes:*

- Worldwide 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 2002 edition
- Now available: utility listings on CD-ROM

To place an order, please contact the American Nuclear Society,  
P.O. Box 97781, Chicago, IL 60678-7781  
PHONE: 708/579-8210, FAX: 708/579-8314  
E-MAIL: [scook@ans.org](mailto:scook@ans.org)

American Express, MasterCard,  
Visa, Diners Club accepted

\$250 FOR PRINT VERSION / \$815 FOR PRINT VERSION PLUS CD-ROM



## The Best of Bill Minkler

*Thirty-five years on the Back Page*

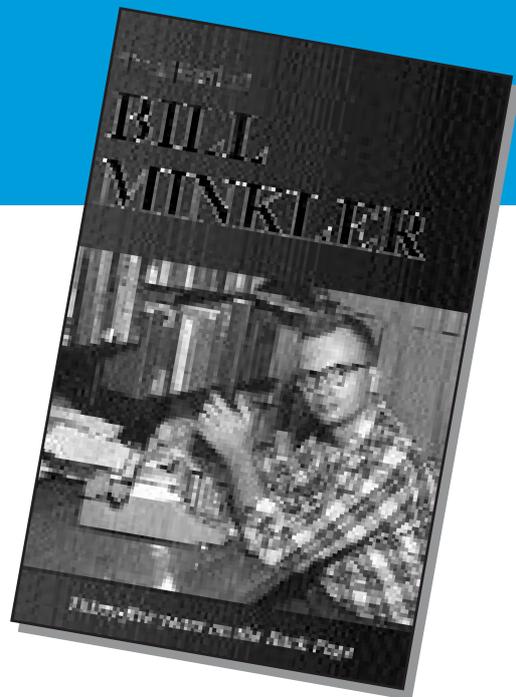
**B**ill Minkler's columns at the back of *Nuclear News* are always a treat. Now a new book collects the best of the columns that have appeared over the past 35 years.

This American Nuclear Society publication gives you the choice columns about the humorous happenings in the fictional town of Blightsburg, from the Beta Bar to Nuke University.

The humor—the fun—in Minkler's columns can be appreciated without your being a nuclear engineer. In fact, you don't need to be into science at all to enjoy these columns.

So, the book makes a great gift for yourself—or for someone else.

Each copy costs just \$20; ANS members receive a 10% discount. (Add \$5 for shipping to U.S. addresses; \$10 for elsewhere.)



A publication of the  
American Nuclear Society

276 pages, soft cover. ANS order number: 690057  
American Nuclear Society, 555 N. Kensington Ave., La Grange Park, IL 60526  
Phone: 708/579-8210; Fax: 708/579-8314; e-mail: [orders@ans.org](mailto:orders@ans.org)

Les Éditions de l'OCDE, 2 rue André-Pascal, 75775 PARIS CEDEX 16  
IMPRIMÉ EN FRANCE  
(68 2002 02 2 P) – ISSN 1605-959X