

# AEN Infos

2002 – N° 20.1

## Dans ce numéro :

Protection radiologique,  
société et environnement

Génération IV et l'AEN

Réacteurs innovants :  
perspectives de coopération  
internationale

Politiques énergétiques  
et externalités

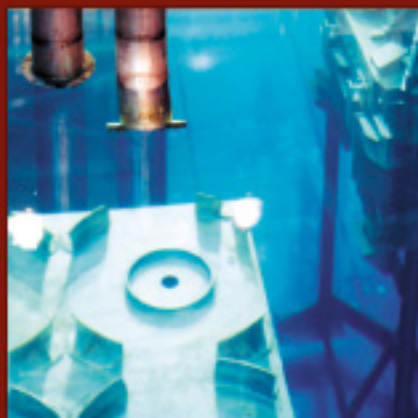


Réaménagement de  
l'environnement des sites  
de production d'uranium

Indicateurs d'efficacité et  
d'efficience des autorités  
de sûreté nucléaire

Conclusion du projet GEOTRAP sur  
la migration des radionucléides

Expertise internationale d'un  
dépôt de déchets radioactifs



*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'OCDE 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 27 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 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

Couverture : La mine d'uranium de La Haba avant et après restauration (ENUSA) ; piscine d'entreposage à Sellafield (BNF plc) ; maintenance à la centrale de Barsebäck (Pierre Mens, Press Promotion) ; transport de combustible à Sellafield (BNF plc) ; stockage de déchets vitrifiés (BNFL).

## Faits et opinions

**4** Protection radiologique, société et environnement

**7** Génération IV et l'AEN

**10** Réacteurs innovants : perspectives de coopération internationale



## Actualités AEN

**14** Politique énergétique et externalités

**19** Réaménagement de l'environnement des sites de production d'uranium

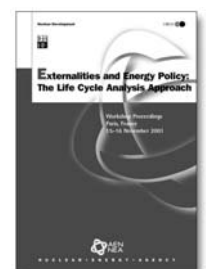
**22** Indicateurs d'efficacité et d'efficacité des autorités de sûreté nucléaire

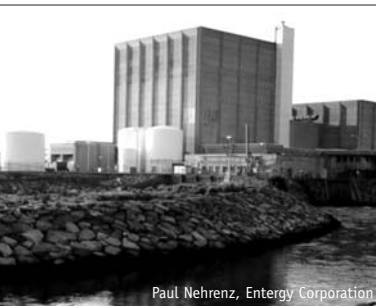
**25** Conclusion du projet GEOTRAP sur la migration des radionucléides

## Nouvelles brèves

**28** Expertise internationale d'un dépôt de déchets radioactifs

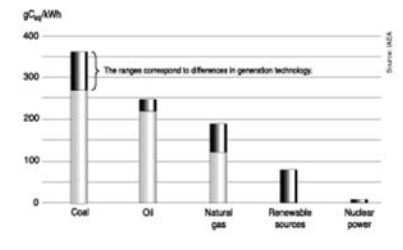
**29** Nouvelles publications





Paul Nehrenz, Entergy Corporation

Greenhouse Gas Emissions from Electricity Generation by Different Sources



Peter Mens, Press Promotion





## L'énergie nucléaire continue à susciter de l'intérêt

*Ces derniers mois ont apporté la confirmation de l'intérêt soutenu de plusieurs pays Membres de l'AEN pour l'énergie nucléaire. Après le « renouveau du nucléaire » observé en 2001 dans certains pays, d'aucuns se demandaient à la fin de l'année si la dynamique se maintiendrait en 2002, compte tenu notamment d'orientations nationales en faveur de la sortie du nucléaire. D'après deux réunions internationales récentes, il semblerait que l'on puisse toujours répondre par l'affirmative.*

*Lors d'un séminaire informel des ministres européens de l'énergie en avril, Loyola de Palacio, la Commissaire de l'Union européenne chargée des transports et de l'énergie a énoncé sans ambages les termes du choix : ou bien nous respectons les engagements du Protocole de Kyoto à l'aide de l'énergie nucléaire, ou bien sans le nucléaire nous renonçons à Kyoto. Donald Johnston, le Secrétaire général de l'OCDE, évoquant les avantages de l'énergie nucléaire s'est dit convaincu, à titre personnel, de la nécessité de reconsidérer le dossier nucléaire en posant sur cette énergie un regard lucide.*



*Au mois de mai, les ministres de l'énergie du G8 ont explicitement reconnu les avantages de l'énergie nucléaire. Ils ont « discuté de la façon dont la sécurité énergétique, la croissance économique, la protection de l'environnement et, donc, le développement durable profitent d'une amélioration de l'efficacité énergétique et de la diversification des sources d'approvisionnement et des combustibles. » Et ont déclaré que « Des sources d'approvisionnement et des types d'énergie variés choisis par chaque pays selon ses besoins de même qu'une efficacité énergétique accrue peuvent aider les pays à réagir aux changements des conditions de l'offre d'énergie... La plupart des membres soulignent la valeur que revêt l'énergie*

*nucléaire dans ce contexte, pourvu que des mesures optimales soient prises en ce qui concerne la sécurité et le stockage des déchets. »*

*Concernant ce dernier point, la communauté nucléaire se préoccupe de prendre les actions nécessaires. D'importants projets de R-D ont été engagés à l'échelon national et international pour concevoir des centrales nucléaires encore plus sûres. Et de fait, c'est l'un des principaux objectifs recherchés dans les études des futurs systèmes nucléaires (voir les articles sur « Réacteurs innovants : perspectives de coopération internationale » et « Génération IV et l'AEN »). S'agissant de la gestion des déchets radioactifs, d'importantes avancées ont été enregistrées aux États-Unis (voir l'article consacré à l'expertise internationale du Projet de Yucca Mountain dans Nouvelles brèves) mais aussi en Finlande où le Parlement a pris une « décision de principe » en faveur du lancement des travaux d'aménagement d'un dépôt souterrain de stockage des déchets radioactifs.*

*La communauté nucléaire s'intéresse aussi à d'autres aspects économiques et environnementaux de l'énergie nucléaire, comme pourra le découvrir le lecteur dans les pages qui suivent.*

Luis E. Echávarri  
Directeur général de l'AEN

# Protection radiologique, société et environnement

**L'évolution des conditions sociales, économiques et technologiques a conduit la communauté internationale à revoir le système de protection radiologique en vigueur. Il s'agit, notamment, de simplifier le système, de rendre plus efficace la participation de l'ensemble des parties prenantes au processus de décision et d'assurer la protection de l'environnement.**

**L**e système actuel de protection radiologique repose sur les recommandations figurant dans la *Publication 60: Recommandations 1990 de la Commission internationale de protection radiologique (CIPR)*. Historiquement, la CIPR émet de nouvelles recommandations de portée générale environ tous les 15 ans. Des modifications éventuelles de ces recommandations, dont la parution est envisagée vers 2005, font actuellement l'objet de débats approfondis.

L'une des raisons avancées pour changer le système est sa complexité. Au fil des années de nouvelles questions et préoccupations ont surgi dans le domaine de la radioprotection et le système de la CIPR s'y est adapté en répondant plus ou moins au coup par coup. D'où un dispositif qui est certes très complet, mais aussi complexe. Dans ces conditions, il n'est pas surprenant d'y rencontrer quelques contradictions apparentes qui peuvent amener à se demander si tous les aspects de la radioprotection sont bien pris en compte. Selon le participant au processus de décision qui les formule, les propositions de changements visant la radioprotection ont tendance à privilégier un aspect plutôt qu'un autre.

Ainsi, à la suite des accidents nucléaires de Three Mile Island (1979) et de Tchernobyl (1986), il est apparu clairement que le système de protection radiologique devait être plus précis quant aux modalités de protection des populations en cas de rejets accidentels de grandes quantités de matières radioactives dans l'atmosphère. Alors que, dans des circonstances normales, la protection de la population repose sur des limites de doses déterminées, en cas d'accident, où de nombreux scénarios sont possibles, il a été décidé que la meilleure solution consistait à privilégier des actions de protection visant à réduire la dose absorbée. Un système souple proposant des fourchettes de limites de dose a donc été adopté. Toutefois, cela signifie en pratique que les limites actuellement appliquées peuvent varier d'une zone géographique à l'autre et d'un accident à l'autre.

Il existe plusieurs autres exemples d'incohérences apparentes ou d'orientations insuffisantes dans le système de radioprotection, ou de domaines

\* M. Ted Lazo (mél : lazo@nea.fr) et M. Stefan Mundigl (mél : mundigl@nea.fr) sont membres de la Division de la protection radiologique et de la gestion des déchets radioactifs de l'AEN.

où des éclaircissements sont nécessaires : protection contre le radon, prise en compte des risques transférés du public aux travailleurs et équité intergénérationnelle, pour n'en citer que quelques-uns. Outre qu'il est important d'expliquer ces incohérences, il faut reconnaître le rôle déterminant que joue dans cette dynamique de changement le désir croissant du public et d'autres parties prenantes de participer, dans la transparence, au processus de décision concernant la santé publique ou l'état de l'environnement.

S'agissant de la participation des parties concernées, les réflexions les plus récentes ont porté sur des moyens de « mieux intégrer la protection radiologique dans la société moderne », ce qui suppose une distinction plus nette entre les rôles et les responsabilités des divers intervenants dans le processus de décision. Ainsi, il est largement admis qu'un système moderne de protection radiologique devrait tracer clairement les frontières entre les aspects scientifiques de l'évaluation des risques, les aspects sociaux de l'évaluation et de la gestion des risques, et les aspects réglementaires de la gestion des risques. Une meilleure compréhension et une définition plus précise de ces frontières devraient grandement faciliter l'élaboration de nouvelles recommandations en matière de protection radiologique. L'un des résultats les plus tangibles de telles distinctions sera de bien faire comprendre pourquoi, dans le système de protection radiologique, un accord international est parfois nécessaire, mais que, dans d'autres circonstances, il convient au contraire de prévoir une certaine flexibilité dans les approches nationales et locales.

## Protection radiologique et environnement

La protection radiologique de l'environnement est une autre question fondamentale qui a acquis une importance accrue dans les pays Membres de l'AEN. Elle s'inscrit désormais dans la recherche plus générale sur les moyens de renforcer la protection de l'environnement dans l'optique d'un développement durable. Les discussions sur cette question ont été axées sur l'élaboration d'un ensemble de principes de base cohérent, condition nécessaire à une action de protection efficace.

Des efforts ont été engagés récemment, y compris à l'AEN, pour promouvoir et mettre sur pied un processus permettant d'élaborer une politique de radioprotection de l'environnement aussi solidement documentée que possible. Ces efforts ont



BNF plc, Royaume-Uni

Ramassage d'algues près de Sellafield pour contrôles environnementaux.

permis d'avancer dans la définition de principes de base applicables à l'échelon international ; dans l'évaluation de la disponibilité des données scientifiques indispensables à l'élaboration d'une politique consensuelle ; et dans la prise en compte de la dynamique socio-politique du processus défini.

Certains aspects essentiels à l'approfondissement d'une politique de radioprotection de l'environnement ont commencé à se dégager. On peut citer les éléments suivants :

- L'objectif premier de la protection radiologique de l'environnement est d'empêcher les dommages. Encore convient-il d'apporter quelques précisions et de s'entendre sur ce que l'on entend par « dommages ».
- Dans les milieux de la radioprotection, on estime que l'environnement est en général suffisamment protégé contre les effets dommageables des rayonnements ionisants. Toutefois, le système en vigueur ne définit pas le niveau de protection qui a été atteint. Tout système modernisé doit comporter des instruments permettant d'indiquer le niveau de protection.

- Pour pouvoir être crédible et susciter l'adhésion, la radioprotection de l'homme et de l'environnement doit être appréhendée et assurée comme un tout, dans un cadre conceptuel cohérent. La protection contre les effets dommageables des rayonnements ionisants doit également être harmonisée avec les méthodes de protection utilisées pour des dangers analogues.
- Selon la zone touchée, la protection de l'environnement peut être envisagée à des niveaux différents. Les rejets radioactifs dans l'atmosphère et dans la mer, par exemple, peuvent avoir une dimension transfrontière et doivent être considérés à l'échelon mondial. D'autres situations, comme les rejets dans un cours d'eau, peuvent être traitées dans un cadre régional comme celui délimité par la Convention pour la protection du Rhin, par exemple. Enfin, des approches nationales peuvent parfaitement convenir pour certaines situations strictement circonscrites à une zone à l'intérieur d'un État.
- On considère que la CIPR est l'organisation la plus apte à formuler des recommandations concernant la protection radiologique de l'environnement à l'échelon mondial. Cela n'empêche pas les milieux de la radioprotection d'être prêts au dialogue et à la consultation avec d'autres parties prenantes.

### Vers un nouveau système

Il convient de noter que l'élaboration d'un nouveau système de protection radiologique est désormais un processus consultatif très ouvert, ce qui laisse bien augurer de la possibilité de parvenir à un résultat faisant l'objet d'un large consensus. L'AEN a contribué activement aux efforts déployés pour que les futures recommandations répondent mieux aux besoins des responsables de la réglementation et de la mise en œuvre de la radioprotection. Dans cette optique, l'AEN a procédé à plusieurs échanges de vues approfondis avec M. Roger Clarke, Président de la CIPR pour lui faire part directement de ses réactions au sujet des idées et des concepts de la CIPR au fur et à mesure de leur élaboration. L'AEN a également élaboré sa propre philosophie sur la façon d'améliorer le système en vigueur par le biais de son Comité de protection radiologique et de santé publique (CRPPH).

Le CRPPH juge que le système actuel de protection radiologique est cohérent et offre un niveau de protection qui ne sous-estime pas les risques. Cela étant, le CRPPH s'est essentiellement attaché

à formuler des suggestions sur la façon dont le système pourrait être modernisé. Au début de l'an 2000, le Comité a publié une *Analyse critique du système de protection radiologique*<sup>1</sup> dégageant les domaines qui gagneraient à être revus. Ce document a été suivi par un autre travail proposant des améliorations concrètes. À l'instar de l'Analyse critique, ce travail sera publié et soumis à la communauté internationale et à la CIPR pour examen.

En outre, une série de forums, organisés en collaboration avec la CIPR a été décidée pour bâtir un consensus. Le premier s'est tenu en février 2002 sur le thème de la radioprotection de l'environnement. Il s'agissait de parvenir à un accord général sur les questions à étudier dans le domaine de la protection radiologique de l'environnement et sur les données (scientifiques, sociales) dont les décideurs auront besoin pour s'y attaquer. Les informations obtenues à l'occasion de cette rencontre, d'autres activités du CRPPH et de nouvelles consultations avec la CIPR déboucheront sur des projets de nouvelles recommandations de la CIPR dans la deuxième moitié de 2002. Le second forum AEN/CIPR se penchera sur les conséquences de ces recommandations si elles étaient mises en œuvre. L'objectif de ce forum sera de veiller à ce que dans ses nouvelles recommandations la CIPR ne perde pas de vue les aspects pratiques de leur application. Il est prévu que ce forum se tiendra à la fin du printemps 2003. Enfin, le troisième forum AEN/CIPR suivra la publication de ses nouvelles recommandations par la CIPR et abordera leur mise en œuvre dans ses aspects les plus concrets.

Grâce à cette démarche, on peut espérer que le nouveau système de protection radiologique répondra aux besoins d'un large éventail de parties intéressées : décideurs, responsables de la réglementation, experts de la protection radiologique et responsables de sa mise en œuvre, population concernée, travailleurs, industrie et défenseurs de l'environnement. ■

### Note

1. *Analyse critique du système de protection radiologique*, ouvrage disponible gratuitement auprès du Bureau des publications de l'AEN (neapub@nea.fr).

# Génération IV et l'AEN

**Dans le précédent numéro d'AEN Infos, W.D. Magwood, du ministère de l'Énergie des États-Unis, décrit l'avenir de l'énergie nucléaire dans le cadre de la nouvelle politique énergétique des États-Unis. Il cite l'initiative Génération IV comme l'un des mécanismes destinés à mettre en œuvre un volet à long terme de cette politique. Bien que l'initiative Génération IV soit née aux États-Unis, elle a rapidement pris une dimension internationale, et, aujourd'hui, dix pays participent au Forum international Génération IV (GIF). Cet article décrit brièvement cette initiative et la part que prend l'AEN à ces travaux.**

**E**n quoi consiste « Génération IV » ? En bref, l'initiative Génération IV a pour objet l'identification, la mise au point et la démonstration d'un ou plusieurs systèmes nucléaires présentant des avantages sur le plan économique et dans les domaines de la sûreté et de la fiabilité, ainsi que de la durabilité, et pouvant faire l'objet d'une exploitation commerciale dès 2030. L'élément moteur de ce projet est la conviction des pays participants que l'avenir de l'énergie nucléaire dépendra, ou au minimum sera conforté par une collaboration internationale plus intense. Cette coopération renforcée ne trouve pas seulement sa justification dans le besoin de partager les coûts de développement de nouvelles technologies nucléaires dans le contexte d'une internationalisation et d'une déréglementation des marchés de l'électricité mais aussi dans la nécessité de mieux faire accepter l'énergie nucléaire par le public.

Huit objectifs ont été définis pour les systèmes nucléaires de la Génération IV. Sur le plan économique, ces systèmes :

1. auront un net avantage sur les autres sources d'énergie du point de vue des coûts moyens sur la durée de vie ;
2. présenteront un risque financier d'un niveau comparable à celui des autres filières énergétiques.

Dans des marchés concurrentiels, ce sont des conditions absolument indispensables. Les risques liés à la construction (coûts et durée) ne sont pas

les seuls à être pris en compte car des facteurs externes, comme l'adhésion du public et l'octroi d'autorisations, peuvent être encore plus déterminants.

Les coûts moyens sur la durée de vie comprennent les coûts en capitaux, les coûts d'exploitation et de maintenance, les coûts du cycle du combustible et les coûts de déclassement et de démantèlement. Dans les pays de l'OCDE, les coûts de déclassement et de démantèlement sont déjà inclus dans les coûts de production de l'énergie nucléaire contrairement à ce qu'il en est pour les autres sources d'énergie. À l'heure actuelle, les coûts en capital et la durée de la construction, y compris le paiement d'intérêts considérables avant la production de quelconques recettes, semblent être les principaux obstacles auxquels sont confrontés les nouveaux systèmes nucléaires.

En ce qui concerne la **sûreté et la fiabilité**, les systèmes nucléaires de la Génération IV :

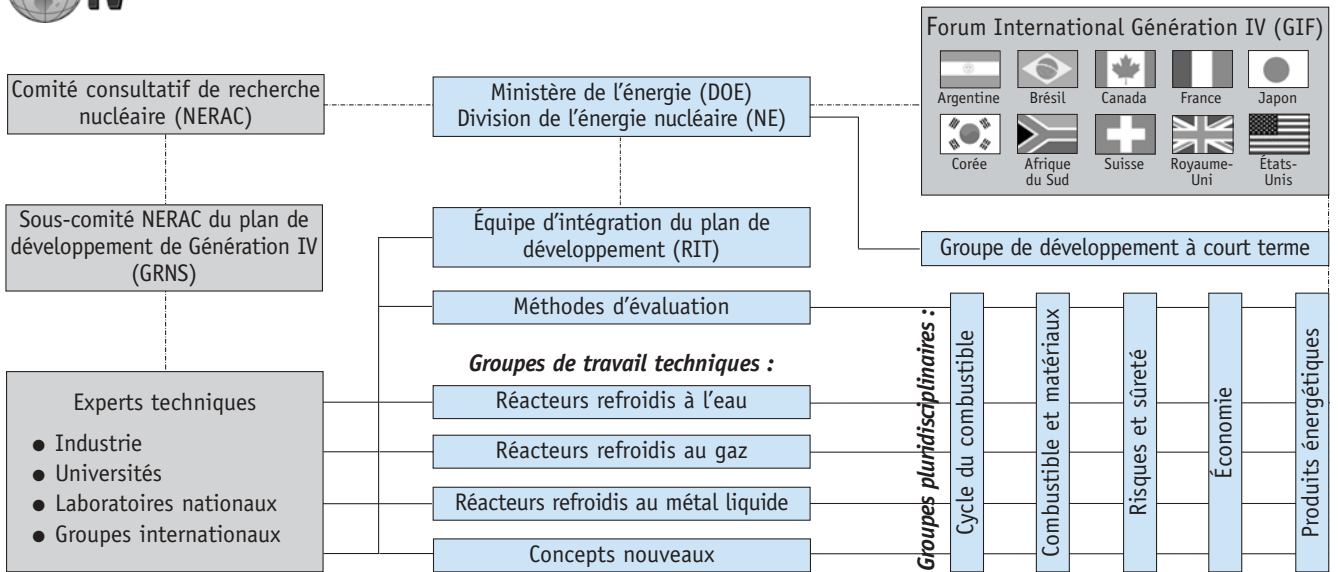
3. auront des performances exceptionnelles dans ces deux domaines ;
4. permettront de réduire la probabilité et la gravité de la détérioration du cœur du réacteur et permettront un rétablissement rapide du fonctionnement de la centrale ;
5. élimineront tout besoin d'intervention à l'extérieur du site en cas d'urgence.

\* M. Thierry Dujardin est Directeur adjoint, Science et développement, à l'AEN (mél : [thierry.dujardin@oecd.org](mailto:thierry.dujardin@oecd.org)).





## Structure de travail de la phase « plan de développement »



Les centrales nucléaires en service dans les pays qui participent au GIF sont parvenues à un haut niveau de sûreté et de fiabilité. Ces trois objectifs visent à améliorer encore ce niveau. Il devrait être possible, grâce aux avancées technologiques futures, de réduire le nombre des incidents pouvant conduire à des accidents, de réduire la probabilité d'un endommagement grave du cœur et d'en atténuer les conséquences, en particulier les éventuels rejets de matières radioactives en dehors du site. On prévoit par ailleurs que ces technologies contribueront à améliorer les performances techniques et économiques des systèmes nucléaires de la Génération IV ainsi qu'à protéger les investissements des propriétaires et accroître la confiance des populations locales.

Sur le plan de la **durabilité**, les systèmes nucléaires et les cycles du combustible de la Génération IV :

6. assureront une production durable d'énergie grâce à la disponibilité à long terme de ces systèmes et à l'utilisation efficace du combustible pour satisfaire les besoins énergétiques mondiaux ;
7. contribueront à réduire au minimum et à gérer leurs déchets nucléaires, permettant ainsi de dépasser les niveaux actuels de protection de la santé publique et de l'environnement, et en particulier de diminuer la charge de surveillance à long terme qui pèsera sur les générations futures ;
8. se révéleront encore moins adaptés et intéressants pour le détournement ou le vol de matières nucléaires utilisables pour la fabrication d'armes.

Né à la fin des années 1980, le concept de développement durable a été défini comme un « développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs ». Pour produire de l'énergie dans le cadre d'un développement durable, il faut préserver les ressources naturelles, protéger l'environnement et éviter, autant que faire se peut, de transmettre des charges aux générations futures. Au niveau international, et en particulier dans le contexte de la préparation du Sommet mondial sur le développement durable qui aura lieu à Johannesburg en août 2002, le développement durable est habituellement examiné sous trois angles : économique, environnemental et social. Dans le cadre de l'initiative Génération IV, la durabilité concerne les aspects correspondants aux définitions ci-dessus, qui n'ont pas été auparavant traités dans le cadre des objectifs économiques, et de sûreté et de fiabilité.

### Plan de développement

Au cours d'une première phase, le plan de développement des technologies de Génération IV est préparé par les membres du GIF dans le but de recenser :

- les six à huit concepts de réacteurs et de cycle du combustible les plus prometteurs ;
- la R-D indispensable pour mettre au point ces concepts en vue de leur commercialisation.

En mars 2001, le ministère de l'Énergie des États-Unis a lancé une enquête sur des concepts innovants. Près de 100 concepts ont été proposés et

ont ensuite été regroupés en catégories dont l'analyse a été confiée à quatre groupes de travail techniques constitués en fonction de la nature du caloporteur utilisé : réacteurs refroidis à l'eau ; réacteurs refroidis au gaz ; réacteurs refroidis au métal liquide ; concepts nouveaux.

Une méthode a été élaborée afin de pouvoir procéder à une évaluation homogène de la capacité de chaque concept ou catégorie de concepts de satisfaire les objectifs de Génération IV. En outre, plusieurs groupes pluridisciplinaires ont été constitués pour travailler sur les questions horizontales communes à deux ou plusieurs catégories de réacteurs (voir figure).

Une centaine d'experts internationaux, américains pour moitié, ont participé à l'élaboration du plan de développement. Lancé en octobre 2000, ce plan devrait être achevé en septembre 2002.

### Participation de l'AEN au plan de développement de Génération IV

L'AEN a participé en qualité d'observateur aux premières réunions du GIF. Elle a explicité au cours de ces réunions ses compétences et son expérience, ce qui a amené les membres du GIF à solliciter son concours. En particulier, le GIF souhaite tirer profit de la capacité de l'AEN d'apporter son soutien à des groupes de travail techniques internationaux et d'organiser des projets de R-D communs auxquels s'associeraient des autorités et des organismes nationaux. Compte tenu de la synergie entre le programme de travail de l'AEN et les études indispensables pour élaborer le plan de développement des technologies, le Comité de direction de l'AEN a approuvé, lors de sa réunion de mai 2001, la participation de l'AEN à ces travaux sur les bases suivantes :

- Participation d'un expert de l'AEN au groupe sur la méthodologie d'évaluation et au groupe pluridisciplinaire sur le cycle du combustible. Ces deux experts font bénéficier leurs groupes des connaissances de l'AEN sur des questions pluridisciplinaires, comme les techniques d'évaluation des performances, la définition de critères et d'indicateurs quantitatifs et divers aspects du cycle du combustible nucléaire ; et
- Désignation de deux experts de l'AEN chargés du Secrétariat de deux groupes de travail techniques, à savoir le groupe des réacteurs refroidis au gaz et le groupe des réacteurs refroidis au métal liquide.

Après la mise en place de nouveaux groupes pluridisciplinaires, des experts de l'AEN participent

aussi à trois nouveaux groupes : économie ; combustibles et matériaux ; et risques et sûreté. Étant donné que les pays membres du GIF et de l'AEN sont différents, le financement des activités de l'AEN au cours de cette phase du plan de développement est assuré par une contribution volontaire du ministère de l'Énergie des États-Unis.

L'AEN prend donc une part active aux différentes étapes du plan de développement, et sa collaboration a été jugée extrêmement efficace par les autres participants. De nombreuses études de l'AEN ont servi à l'élaboration du plan de développement. Ainsi les données et les évaluations sur la séparation et la transmutation et les informations sur les tendances du cycle du combustible nucléaire se sont révélées extrêmement utiles pour les travaux de présélection du plan de développement. Les résultats du plan de développement seront communiqués par le GIF à une date ultérieure.

### Étapes ultérieures

Les concepts de réacteurs une fois choisis, l'essentiel du plan de développement sera la recommandation d'un programme de R-D pour les mettre au point.

Dans le cadre de la mission confiée à l'AEN, à savoir favoriser la coopération internationale par l'organisation de projets de R-D communs entre les pays souhaitant participer, et, en accord avec le Comité de direction de l'AEN, la participation de l'Agence au plan de développement a pour objectif final d'offrir un cadre international solide pour l'élaboration dans une phase ultérieure de projets de R-D communs. Les membres du GIF reconnaissant l'expérience inestimable de l'AEN dans le domaine de la coordination de projets de ce type ont précisé dans leur charte que, pour faciliter les travaux de recherche à mener en collaboration, on demandera notamment à des organisations internationales, comme l'OCDE/AEN, d'en assurer la coordination.

Lorsque les participants au GIF se seront entendus sur les concepts à mettre au point, vraisemblablement dans les mois à venir, des discussions détaillées seront consacrées aux travaux de R-D à entreprendre. Dans ce contexte, l'AEN est prête à détailler son offre de coordination des projets de R-D communs que les membres du GIF décideront d'entreprendre. ■

### Note

1. Afrique du Sud, Argentine, Brésil, Canada, Corée, États-Unis, France, Japon, Royaume-Uni et Suisse.

# Réacteurs innovants : perspectives de coopération internationale

**Plusieurs pays souhaitent faire davantage appel à l'énergie nucléaire ou se réserver la possibilité d'y faire appel à l'avenir. Certaines inquiétudes en matière de sécurité énergétique, la nécessité de réduire les émissions de gaz à effet de serre et d'autres polluants atmosphériques dans les pays de l'OCDE ainsi que l'absence de sources d'énergie suffisantes au plan national pour répondre à l'accroissement de la demande dans certains pays non membres expliquent l'intérêt suscité par l'énergie nucléaire. Trois agences internationales ont examiné comment cet intérêt pourrait se concrétiser dans les années à venir.**

**L**es nouvelles centrales nucléaires devront relever les défis de marchés énergétiques privatisés et dérégulés, conjugués à une sensibilité accrue du public à l'égard des risques technologiques. Il leur faudra maintenir ou dépasser les niveaux actuels de sûreté et se montrer compétitives par rapport à d'autres modes de production d'électricité, en premier lieu les centrales à cycle combiné au gaz naturel. Leur succès dépendra aussi de la mise en place de moyens plus efficaces de gestion des déchets radioactifs et des réponses qui seront apportées aux préoccupations en matière de prolifération.

Dans l'ensemble du monde, des entreprises, des instituts de recherche, des universités et des

organisations gouvernementales étudient actuellement des technologies fondées sur la fission nucléaire capables de relever ces défis. Il peut arriver que plusieurs groupes de recherche travaillent sur des technologies identiques ou analogues. La coopération internationale pourrait aider les concepteurs de ces technologies à tirer le meilleur parti des fonds actuellement limités consacrés à la recherche dans ce domaine.

## Le Rapport des trois agences

Le Rapport des trois agences, qui est un projet commun de l'Agence internationale de l'énergie (AIE), de l'Agence pour l'énergie nucléaire de l'OCDE (AEN) et de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA), examine comment de nouvelles technologies en développement tentent de relever les défis auxquels l'énergie nucléaire est aujourd'hui confrontée et essaye de cerner des domaines éventuels de coopération entre les concepteurs de ces technologies. On y cherche également à identifier des technologies génériques

*\* Mme Evelyne Bertel est membre de la Division du développement de l'énergie nucléaire de l'AEN (mél : bertel@nea.fr) ; Mme Madeline Woodruff travaille au Bureau de l'efficacité énergétique, de la technologie et de la R-D à l'Agence internationale de l'énergie (mél : madeline.woodruff@iea.org). M. Peter J. Gowin, qui a contribué à cet article, travaille au Département de l'énergie nucléaire de l'Agence internationale de l'énergie atomique (mél : P.Gowin@iaea.org).*

importantes pour un ou plusieurs modèles susceptibles de profiter de la collaboration internationale.

L'étude porte sur des technologies de réacteurs de fission nucléaire « innovantes » qui vont au-delà des progrès résultant d'une évolution progressive de la technologie actuelle. On a choisi d'examiner des modèles spécifiques de réacteurs innovants de façon à identifier des équipes de recherche en mesure de fournir des données techniques sur les modèles ainsi que des informations sur les programmes de R-D ; toutefois, le but principal de l'étude n'était pas d'évaluer des concepts particuliers proposés par tel ou tel vendeur ou concepteur.

L'étude repose sur les informations communiquées par des concepteurs de modèles de réacteurs nucléaires avancés en réponse à un questionnaire sur la façon dont les caractéristiques de leurs modèles innovants contribuent à en améliorer les performances par rapport à celles de la génération actuelle de réacteurs. L'équipe chargée du rapport a retenu six critères : sûreté, compétitivité économique, résistance à la prolifération et système de garanties, gestion des déchets, efficacité de l'utilisation des ressources et souplesse d'application. Cependant ces problèmes peuvent être résolus en partie par la construction de plusieurs unités partageant les mêmes installations de support sur un même site.

Les douze modèles examinés ont été choisis par les auteurs du Rapport en fonction de critères génériques destinés à sélectionner des systèmes électronucléaires bénéficiant de programmes de R-D financés en cours et faisant intervenir une variété de fluides de refroidissement, conditions d'exploitation et caractéristiques de modérateurs

ainsi que différentes applications de l'énergie nucléaire (à savoir, production d'électricité, chauffage urbain, applications de haute température). Outre ces critères, le choix des modèles reflète le souci de respecter un équilibre régional et global et de présenter un large éventail d'institutions de R-D et de concepteurs. On s'est attaché à prendre en compte les besoins des pays Membres des agences participantes, considérant à la fois le pays à l'origine de chaque modèle et les pays où les modèles pourraient être utilisés.

### Principaux enseignements

Un premier examen des modèles de réacteurs innovants donne une idée de l'éventail de technologies parmi lesquelles les pays qui souhaitent avoir davantage recours à l'énergie nucléaire pourront choisir. Ces modèles proposent une grande diversité d'innovations pour s'attaquer de front aux problèmes auxquels est aujourd'hui confrontée l'énergie nucléaire. Nombre de ces innovations et approches inédites se retrouvent dans plusieurs modèles.

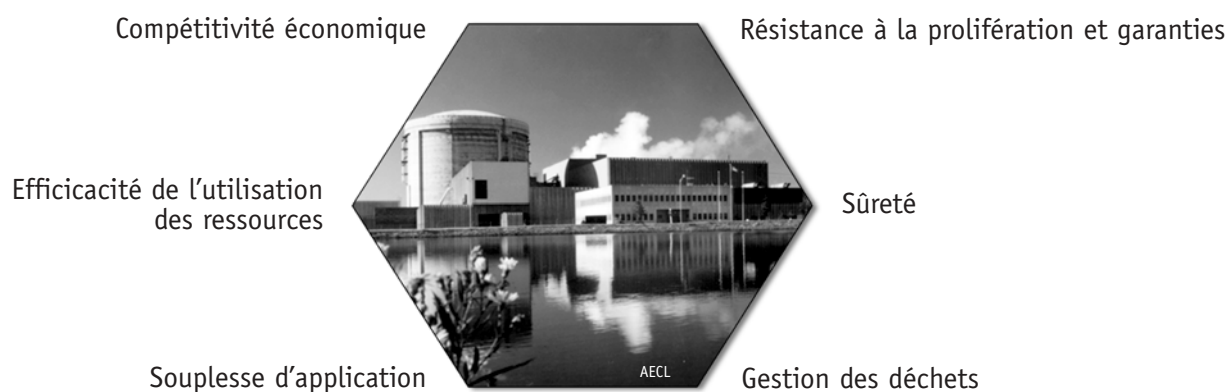
La méthodologie suivie pour l'étude – analyse de la façon dont chaque modèle de réacteurs aborde les problèmes posés à l'énergie nucléaire et inventaire des technologies et des informations génériques qui sous-tendent tous les modèles ou peuvent leur apporter un plus – s'est avérée pertinente pour évaluer un nombre limité de concepts. Elle pourrait être appliquée à un éventail de modèles plus large.

La plupart des activités de conception étudiées sont axées sur la chaudière nucléaire (NSSS). Étant

---

### L'approche du Rapport des trois agences

Six principales caractéristiques ont été sélectionnées par l'équipe du Rapport :



### Modèles de réacteurs innovants considérés dans le Rapport

	Nom	Pays	Type	Puissance	Concepteur
<b>Réacteurs à eau ordinaire</b>	Barge flottante KLT-40C	Russie	REP	35 MWe	OKBM
	CAREM-25	Argentine	REP	27 MWe	INVAP
	MRX	Japon	REP	≤300 MWe	JAERI
	NHR-200	Chine	REP	200 MWth	INET
	SMART	Corée	REP	100 MWe	KAERI
<b>Réacteurs à eau lourde</b>	CANDU X	Canada	RELP	350-1150 MWe	EACL
<b>Réacteurs rapides à métal liquide</b>	BREST 300	Russie	RNR	300 MWe	RDIPÉ
	Amplificateur d'énergie	Europe	Hybride RNR/ Accélérateur	675 MWe	CERN
<b>Réacteurs à gaz</b>	GT-MHR	États-Unis/Russie	RHTG	286 MWe	General Atomics
	PBMR	Afrique du Sud	RHTG	110 MWe	ESKOM
<b>Réacteurs à sels fondus</b>	FUJI	Japon/Russie/ États-Unis	RSF	100 MWe	ITHMSO
<b>Autres</b>	RTFR	Russie/États-Unis/ Israël	REP/ RELP	Petit à grand	RCC- KI/BNL/BGU

donné que la partie classique de la centrale, où la chaleur provenant du réacteur nucléaire est transformée en énergie utile, représente une part considérable des coûts d'investissement et d'exploitation, il convient de l'étudier avec une égale attention si l'on veut atteindre les objectifs de compétitivité.

Des dispositions spécifiques sont nécessaires pour réduire les coûts d'exploitation, de maintenance et d'inspection, surtout pour les petits réacteurs. En raison de leur conception compacte ou du type de réfrigérant qu'ils utilisent, certains modèles innovants sont susceptibles de soulever de nouveaux problèmes d'entretien et d'inspection de la cuve, de l'enceinte et des systèmes de sûreté. L'inspection en service sera rendue difficile par l'exiguïté des accès et le manque d'espace résultant du caractère très compact du dispositif, ainsi que par la présence d'obstacles tels que l'isolation ou un réfrigérant solidifié.

Toutes choses étant égales par ailleurs, les économies d'échelle sur les coûts d'investissement, d'exploitation et de maintenance avantagent les grandes centrales nucléaires. Pour être économiquement viables, il faut que les petites centrales soient dotées d'une chaudière nucléaire et de parties classiques simplifiées ou offrent des températures de sortie du cœur du réacteur élevées per-

mettant un meilleur rendement thermodynamique et une utilisation plus efficace de l'énergie.

Plusieurs des modèles innovants examinés dans cette étude ont été mis au point en faisant l'hypothèse que dans les marchés énergétiques de demain, le besoin d'électricité ne sera pas nécessairement l'unique moteur de la demande, mais qu'il faudra aussi prendre en compte la chaleur industrielle, le chauffage urbain et le dessalement de l'eau de mer ou la production d'hydrogène. Globalement, mettre en avant les possibilités de production combinée et améliorer la souplesse d'application peuvent accroître la compétitivité des centrales nucléaires.

De nombreux composants et technologies qui ont été commercialisés par les industries aérospatiale, automobile et pétrochimique notamment, peuvent être reprises avec profit dans l'industrie nucléaire. Les efforts visant à mettre au point des modèles de réacteurs innovants auraient tout à gagner à une coopération plus étroite avec des chercheurs extérieurs au secteur nucléaire et à un suivi plus systématique de l'évolution de la recherche dans les activités industrielles non nucléaires.

Les informations fournies par les équipes de recherche et d'étude en réponse au questionnaire font apparaître que les travaux de R-D et de conception en cours concernant les réacteurs

nucléaires innovants ne reçoivent qu'un financement très faible par rapport aux moyens qui avaient été consentis dans les années 50, 60 et 70 pour la mise au point des réacteurs de la génération actuelle et par rapport aux dépenses de R-D actuelles consacrées à la maintenance et à l'augmentation des performances des réacteurs en exploitation. Si les financements devaient se maintenir à ces faibles niveaux, la disponibilité commerciale de la plupart des modèles examinés pourrait demander 10 ou 15 ans, voire davantage.

La faiblesse des investissements dans la mise au point de nouveaux modèles, les possibilités d'échanges mutuels entre projets, la vaste expérience sur laquelle ces efforts peuvent s'appuyer, et sa sous-utilisation actuelle, sont autant de bonnes raisons de resserrer la collaboration dans la mise au point de modèles de réacteurs innovants. Elle pourrait réduire le temps et les dépenses nécessaires pour rendre ces technologies commercialement disponibles.

## Perspectives d'avenir

Il existe une masse d'informations disponibles sur l'expérience acquise à l'échelle mondiale, accumulées grâce à plusieurs décennies de recherche dans le domaine de la fission nucléaire et à l'exploitation de nombreux réacteurs prototypes et de démonstration dans les années 50 et 60. Un travail considérable est nécessaire pour intégrer pleinement dans les programmes de R-D en cours l'expérience acquise pour la mise au point et l'exploitation de modèles ayant utilisé des réfrigérants, des modérateurs, des systèmes, des composants, des configurations et des procédures pertinents.

Un échange d'idées plus systématique entre concepteurs de réacteurs pourrait renforcer l'efficacité globale de la recherche. Certains groupes d'étude peuvent souhaiter se familiariser avec les dispositifs et les technologies qui sont actuellement utilisés ou proposés par d'autres groupes d'étude et évaluer les solutions de rechange possibles applicables à leur propre modèle. Par ailleurs, eu égard aux moyens réduits alloués aux activités de recherche, de développement et de conception dans le domaine des réacteurs innovants, il serait utile de s'inspirer des composants et technologies mis au point dans d'autres industries.

Certaines technologies génériques se prêteraient particulièrement bien à une large collaboration internationale car elles sont pertinentes pour l'élaboration de plusieurs types de modèles innovants et devraient pouvoir donner lieu à des mises

## Recommandations

Le Rapport des trois agences propose les recommandations suivantes aux équipes travaillant à la conception des réacteurs :

- Mieux utiliser l'expérience acquise.
- Accroître les échanges d'information entre les équipes travaillant sur les concepts différents.
- Utiliser davantage de composants et technologies développés par d'autres secteurs industriels.
- Augmenter la coopération en matière de R-D.

au point conjointes sans nécessiter pour autant le partage d'informations ou de savoir-faire commercialement sensibles. Les disciplines envisageables pour ce type de collaboration sont notamment les suivantes : évaluation des technologies ; circulation naturelle ; matériaux à haute température ; dispositifs de sûreté passive ; méthodes d'inspection et de maintenance en service ; technologies de surveillance et de contrôle avancées ; méthodes de livraison et de construction ; et technologies de garanties. De nombreuses autres technologies habilitantes pourraient convenir à une coopération limitée entre quelques groupes d'études.

Plusieurs projets internationaux sur l'énergie nucléaire ont été lancés ces dernières années. Par exemple, l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) a récemment lancé le Projet international sur les réacteurs nucléaires et les cycles du combustible nucléaire innovants (INPRO). Des travaux sur des modèles innovants sont également en cours dans le cadre de l'initiative dite *Generation IV International Forum* (GIF), appuyée par les États-Unis et neuf autres pays, et par le biais du *Michelangelo Initiative Network* placé sous l'égide du Programme cadre de la Commission européenne. Ces initiatives sont autant de forums appropriés pour examiner les résultats du Rapport des trois agences et élargir l'analyse à d'autres modèles. ■

## Note

1. Les principaux résultats du projet sont résumés dans le Rapport des trois agences « IAEA, IEA, OECD/NEA, Three-Agency Study – Innovative Nuclear Reactor Development: Opportunities for International Co-operation, Summary Report », à paraître en 2002.

# Politique énergétique et externalités

Les coûts externes de l'énergie ont fait l'objet d'évaluations dans un certain nombre d'études fiables et faisant autorité, sur la base de méthodologies largement acceptées, telle l'analyse du cycle de vie (ACV). Cependant, bien que la plupart des acteurs concernés et des décideurs admettent l'existence de ces coûts, les résultats des travaux analytiques sur les externalités et des études fondées sur l'ACV sont rarement utilisés dans l'élaboration des politiques. L'Agence internationale de l'énergie (AIE) et l'Agence pour l'énergie nucléaire (AEN) ont organisé un atelier conjoint, en novembre 2001, pour offrir l'occasion à des experts et à des décideurs d'exposer les résultats les plus récents des travaux analytiques sur les externalités et de débattre des questions liées à la pertinence des coûts externes et de l'ACV pour l'élaboration des politiques. Les conclusions de l'atelier<sup>1</sup> font ressortir la nécessité de poursuivre les travaux dans ce domaine et le rôle que pourraient jouer des organisations internationales comme l'AIE et l'AEN dans cette perspective.

## Introduction

La vérité des prix est une condition requise pour que les mécanismes du marché agissent efficacement vers un développement durable dans le secteur de l'énergie. Ceci implique d'établir l'inventaire des coûts externes et de leur attribuer

des valeurs, afin de les répercuter sur les prix. En internalisant les coûts externes, on cherche à fournir des signaux de prix « corrects » qui amènent les consommateurs à faire des choix tendant vers l'optimum, en tenant compte des aspects sociaux et environnementaux ainsi que des coûts économiques directs.

En théorie économique, des méthodes applicables au secteur de l'énergie ont été mises au point pour évaluer et internaliser les coûts externes. Les outils conçus pour traiter ces questions s'appuient généralement sur un inventaire très détaillé (et exhaustif, dans la mesure où les conditions données le permettent) des incidences et des dommages, puis sur l'attribution de valeurs monétaires à ces effets et, enfin, sur l'intégration des coûts externes calculés dans le coût total d'un produit, l'électricité par exemple.

L'analyse du cycle de vie (ACV) offre un cadre conceptuel pour une évaluation comparative, détaillée et complète des incidences potentielles sur l'environnement des différentes sources d'approvisionnement énergétique. L'ACV classique nécessite un inventaire complet des ressources utilisées et des produits à toutes les étapes d'un processus de production et peut prendre en compte des émissions indirectes. Il est possible, dans un deuxième temps, de procéder à l'évaluation des impacts sur l'environnement et sur l'épuisement des ressources.

La méthodologie d'évaluation des coûts externes mise au point dans le cadre du projet ExternE<sup>2</sup> est un exemple de méthode « *bottum-up* » permettant d'estimer les incidences des différentes émissions liées aux divers combustibles ou carburants utilisés pour la production d'électricité et les transports

\* Mme Evelyn Bertel est membre de la Division de développement de l'énergie nucléaire de l'AEN (mél : bertel@nea.fr) ; M. Peter Fraser travaille dans la Division de la diversification de l'énergie à l'AIE (mél : peter.fraser@iea.org).

### Coûts externes quantifiables de différents systèmes d'énergie (en euro-cents/kWh)

Incidences	Charbon	Lignite	Gaz naturel	Nucléaire	PV	Éolien	Hydraulique
Conséquences sur la santé	0.8	1.0	0.3	0.2	0.4	0.05	0.04
Pertes de récoltes	-0.03	-0.03	-0.01	0.0008	-0.003	0.0005	0.0004
Dommages matériels	0.02	0.02	0.007	0.002	0.01	0.001	0.0007
Pollution sonore						0.006	
Acidification/ Eutrophication <sup>a)</sup>	0.2	0.8	0.04	0	0.04	0	0
Réchauffement planétaire <sup>b)</sup>	1.6	2	0.8	0.03	0.3	0.03	0.03
<b>Sous-total</b>	<b>2.6</b>	<b>3.8</b>	<b>1.1</b>	<b>0.2</b>	<b>0.8</b>	<b>0.09</b>	<b>0.07</b>

Source: A. Voss, (2000), "Sustainable Energy Provision: A Comparative Assessment of the Various Electricity Supply Options", *SFEN Conference Proceedings, What Energy for Tomorrow?*

- a) Estimation basée sur les coûts marginaux de dépollution pour atteindre l'objectif de l'UE afin de réduire les pluies acides en Europe.  
 b) Estimation basée sur les coûts marginaux de réduction des émissions de CO<sub>2</sub> de 25 pour cent en Allemagne d'ici 2010 (19 euros/tCO<sub>2</sub>).

en se fondant sur l'inventaire de chacune de ces émissions ; d'estimer leur dispersion ; d'étudier l'impact sur la base de la relation dose-réponse (les impacts étant mesurés essentiellement en termes d'années de vie perdues) et de fournir une évaluation économique de ces impacts. Les résultats comportent de nombreuses incertitudes qui ne tiennent pas uniquement aux limites que présentent les données, mais aussi aux difficultés à chiffrer certaines incidences (par exemple celles qui se font sentir sur l'écosystème), aux hypothèses sur la gestion future des déchets et les progrès technologiques, ainsi qu'aux aspects intergénérationnels <sup>3</sup>.

Les études menées à ce jour font ressortir que de grandes incertitudes subsistent concernant les relations dose-effet, et par conséquent les dommages matériels ainsi que la valeur monétaire des dommages. Les écarts entre les estimations peuvent s'expliquer par l'emploi de différentes méthodologies, technologies, localisations géographiques et densités de population. En outre, les valeurs attribuées aux jours de vie perdus ou à la perte

de biodiversité sont fonction des conditions économiques et/ou culturelles locales. Ces incertitudes et différences restreignent les possibilités d'application et la pertinence des coûts externes pour la conception des politiques. Néanmoins, l'ACV et l'évaluation des coûts externes peuvent être mises à profit de nombreuses façons pour améliorer l'efficacité globale des diverses technologies et pour mesurer les progrès accomplis dans le sens d'un développement durable.

### ACV et évaluations des coûts externes

Les estimations des coûts externes de l'énergie nucléaire présentées dans l'étude ExternE, qui sont fondées sur la filière nucléaire française <sup>4</sup>, montrent que la production d'électricité et le retraitement du combustible sont les principales étapes du cycle qui contribuent à ces coûts. Les résultats mettent en évidence que les incidences se font sentir sur une très longue période. Le coût externe est en grande partie imputé aux effets sur les travailleurs, tandis que le coût des incidences



sur la population est relativement faible (environ 0,00002 EUR par kWh). Ce chiffre n'est pas sensiblement alourdi par les accidents, si l'on table sur l'hypothèse généralement admise que ces accidents se produiraient à une fréquence de 1 pour 100 000 réacteurs-ans et que, dans un accident de cette nature, 1 pour cent des matières radioactives seraient rejetées dans l'environnement. Même si l'on tient compte d'un effet d'aversion pour le risque, le chiffre correspondant aux accidents ne représenterait que quelque 0,0001 EUR par kWh, ce qui reste très faible.

Les analyses du cycle de vie du charbon ont été axées sur son utilisation pour la production d'acier et d'électricité, afin de cerner les possibilités d'en améliorer la viabilité écologique <sup>5</sup>. Dans le secteur de la production d'électricité, l'ACV révèle que les plus vastes possibilités d'amélioration passent par l'utilisation de technologies à meilleur rendement, de biomasse en remplacement du charbon et des cendres volantes dans la fabrication de ciment. Une solution technologique intéressante consiste à associer le solaire thermique à la production d'électricité à partir de charbon, ce qui permet de porter le rendement net de conversion de l'énergie solaire à 30-40 pour cent (contre 13 pour cent pour le photovoltaïque). Le surcoût estimé de l'utilisation à grande échelle du solaire thermique dans une centrale à charbon existante avoisine 4 cents d'USD par kWh.

Les externalités des projets hydroélectriques ont été étudiées dans le cadre de l'Accord de mise en œuvre d'un programme de coopération sur les technologies et les programmes relatifs à l'hydroélectricité de l'AIE <sup>6</sup>, en passant en revue un grand nombre d'études fondées sur l'ACV. L'adoption de la devise : « éviter (les externalités environnementales), atténuer (les dommages inévitables), compenser (les dommages impossibles à atténuer) pour les projets hydroélectriques contribue d'ores et déjà à réduire les externalités. Les émissions de gaz à effet de serre provenant de barrages hydroélectriques sont normalement très faibles, à de rares exceptions près. L'étude constate que les autres effets positifs de ces barrages, notamment l'irrigation et la régularisation des crues, ne sont généralement pas pris en considération dans les études examinées. Celles-ci ne tiennent pas compte non plus des avantages pour la sécurité énergétique, qu'il serait utile d'intégrer aussi à l'ACV. En outre ces études avancent que l'internalisation de toutes les incidences sur l'environnement dans une ACV ne se justifie pas (par exemple, la perte d'aménité visuelle en est généralement exclue),

et cette analyse ne tient pas compte non plus des différences entre les valeurs accordées à certaines aménités liées aux différences culturelles.

Plusieurs éléments témoignent des insuffisances de l'analyse du cycle de vie appliquée aux secteurs du pétrole <sup>7</sup> et du gaz <sup>8</sup>. Les chaînes de production donnent souvent lieu à de multiples produits, pour des utilisations énergétiques ou pour d'autres applications, et l'imputation des émissions est, dans une certaine mesure, arbitraire. Étant donné que la chaîne de production du pétrole et du gaz peut présenter des caractéristiques très variables, on pourrait déduire n'importe quelle estimation des émissions selon l'échantillon retenu de puits, de méthodes d'extraction, etc. D'une manière plus générale, on peut faire valoir que les études d'impact utilisant l'ACV ne peuvent pas rendre compte des incidences inconnues des nouveaux produits chimiques sur l'environnement et la santé, ne sont pas basées sur une échelle objective, nécessitent de nombreuses hypothèses et sont très complexes. En conséquence, l'ACV ne devrait pas servir de base pour comparer des options de production très différentes ou pour internaliser les coûts externes. En revanche, c'est un outil précieux pour procéder à des descriptions systématiques des caractéristiques de l'utilisation des ressources et des incidences sur l'environnement, utilisable plus précisément pour comparer des chaînes de production et des options technologiques très semblables, ou lorsqu'il faut choisir entre divers sites pour la même option technologique.

Les analyses du cycle de vie appliquées à l'énergie photovoltaïque (PV) et éolienne font ressortir l'intérêt de la méthode pour évaluer les évolutions de la technologie <sup>9</sup>. Les estimations des incidences de l'énergie PV calculées à l'aide de l'ACV, initialement très élevées, ont fortement baissé grâce au progrès technologique et à l'augmentation du rendement. D'autres améliorations sont possibles. Pour l'éolien, les externalités sont relativement faibles, malgré les nuisances acoustiques et visuelles constatées dans la phase d'exploitation. Les estimations des dommages attribuables à l'énergie éolienne sont les plus basses de toutes, parmi les cycles étudiés dans le cadre du projet ExternE. À en juger par l'exemple de l'énergie PV, l'ACV doit être envisagée de manière dynamique, surtout eu égard aux nouvelles technologies. Les inventaires des futures technologies de production d'électricité établis en fonction du cycle de vie seront examinés dans le cadre d'un nouveau projet de recherche international baptisé ECLIPSE, qui sera axé sur les technologies photovoltaïques,

éoliennes, des piles à combustible, de la biomasse et de la cogénération. Des analyses de sensibilité seront effectuées pour déterminer l'influence du progrès technologique rapide et des disparités des conditions locales.

Les résultats de l'ACV de la production d'électricité dans le contexte allemand<sup>10</sup> révèlent que la production électrique à partir de charbon (et de lignite, en particulier) affiche les coûts externes les plus élevés en termes d'années de vie perdues, suivie de l'énergie PV et du gaz naturel, alors que le nucléaire, l'éolien et l'hydroélectricité entraînent des coûts externes moindres. Les coûts externes associés au charbon/lignite avoisinent 0,03 € par kWh, tandis qu'ils représentent environ 0,01 € pour le gaz et le PV, et 0,001 € pour l'éolien et l'hydraulique. Si ces estimations des coûts externes sont ajoutées aux coûts directs, l'énergie nucléaire, qui est déjà presque compétitive vis-à-vis du charbon et moins chère que le gaz naturel, devient l'option la moins coûteuse pour produire de l'électricité. Toutefois, de grandes incertitudes subsistent concernant les données et le choix du taux d'actualisation, ce qui limite l'applicabilité de l'ACV dans le cadre de l'élaboration des politiques à l'échelon national.

L'évaluation des gaz à effet de serre dans le secteur des transports aux États-Unis montre que, si l'on recourt à l'ACV au lieu de limiter la comparaison aux utilisations finales, les avantages relatifs des carburants de substitution sur le véhicule à essence de référence sont, en général, moindres. Il se dégage néanmoins aussi des résultats obtenus que l'utilisation d'éthanol (produit à partir de bois) pour alimenter un moteur classique permettrait de réaliser des économies considérables. Les coûts externes de l'usage des véhicules à moteur, calculés en tenant compte de la pollution de l'air et de l'eau, du bruit, de la congestion et de la sécurité énergétique, s'élèvent à 1,2 cents d'USD par mile parcouru par un véhicule à essence<sup>11</sup>. L'externalité la plus importante est liée à la pollution atmosphérique. La seule autre variable d'importance est l'impact sur l'économie, qui dépend du transfert de richesse vers l'extérieur des États-Unis (appelé « externalité pécuniaire ») et des répercussions des chocs pétroliers. On a observé, en comparant les coûts externes et les subventions liés aux différents modes de transport aux États-Unis (voitures électriques ou à gaz, autobus urbains, métro, chemin de fer), que le coût du subventionnement des réseaux de transport public est beaucoup plus important que l'avantage tiré de la réduction des externalités.

Dans la comparaison des coûts sociaux des différents modes de transport, les différences de coûts externes, bien que non négligeables, n'égalent pas les différences entre les coûts directs ou les subventions. On trouvera d'autres analyses sur ce thème et d'autres questions connexes dans *Externalities and Energy Policy: The Life Cycle Analysis Approach*<sup>1</sup>.

## Coûts externes, ACV et élaboration des politiques

Bien que l'analyse du cycle de vie et l'évaluation des coûts externes présentent de nombreuses limites et incertitudes sous-jacentes, la méthodologie offre un large éventail d'applications possibles. Elle peut apporter une aide précieuse aux décideurs pour l'évaluation des technologies, la comparaison des solutions d'approvisionnement énergétique envisageables pour l'avenir, l'analyse coûts-avantages des mesures de politique énergétique et l'élargissement des systèmes de comptabilité écologique, par exemple. L'ACV est utile également pour les concepteurs de technologies, car elle leur procure des indicateurs de viabilité écologique propres à chacune d'elles et permet d'identifier les domaines prioritaires pour la réduction des incidences sur l'environnement.

*L'analyse du cycle de vie peut servir à construire un ensemble d'indicateurs intéressants pour rendre compte de la viabilité écologique des différentes technologies énergétiques et, par extension, des secteurs de l'électricité et des transports.*

Une évaluation fondée sur l'ACV pourrait étayer l'élaboration des politiques énergétiques nationales, dans la mesure où elle permettrait :

- d'établir des indicateurs de viabilité écologique, non seulement pour le secteur de la production d'électricité, mais aussi pour d'autres étapes du « cycle du combustible » des différentes options énergétiques – ces indicateurs pourraient notamment concerner les émissions de gaz à effet de serre, la diversification énergétique et l'épuisement des ressources ;
- d'identifier les possibilités d'améliorer la viabilité écologique de toutes les activités liées au cycle du combustible (par exemple celle des opérations minières) ;

- de contribuer à l'évaluation des effets des différents instruments économiques (notamment les taxes sur le carbone ou un système de plafonnement et d'échange) sur les échanges internationaux d'énergie (par exemple les échanges internationaux de gaz naturel) ;
- de nourrir le débat politique sur l'amélioration de la viabilité écologique des systèmes énergétiques.

Au fur et à mesure que la libéralisation des marchés de l'électricité s'impose dans les pays de l'OCDE, il devient plus courant que les décisions d'investissement dans les capacités de production relèvent d'entreprises privées qui recherchent la solution la plus rentable. Ce ne seront pas des considérations théoriques sur les coûts externes qui influenceront ces entreprises, mais les politiques publiques qui s'efforcent de les internaliser. Dans ce cas, l'ACV peut aider les pouvoirs publics à déterminer où ils doivent exercer leur pression, et les entreprises à évaluer le coût et les incidences environnementales nettes de ces politiques. Par exemple, les autorités pourraient utiliser l'ACV pour découvrir de quel maillon de la chaîne de l'électricité proviennent les impacts sur l'environnement et comment cibler leur intervention en vue de les atténuer. De leur côté, les entreprises pourraient s'en servir pour évaluer les incidences financières potentielles des mesures prises par les pouvoirs publics (par exemple la taxation du carbone) sur les différentes technologies de production.

Certes, les décideurs sont généralement contrariés par la conclusion habituelle des scientifiques prônant la poursuite des recherches, mais il faut bien admettre qu'il est indispensable de perfectionner la méthodologie de l'ACV et d'affiner les données correspondantes. Pour que l'ACV puisse mieux s'appliquer à l'élaboration des politiques, il importe de s'attacher aux aspects suivants : la cohérence entre l'ACV et la théorie économique en général ; les incertitudes sur les externalités liées à la santé ; les incertitudes et la pertinence de l'actualisation en ce qui concerne les coûts du changement climatique ; et les fondements empiriques de l'« aversion pour les catastrophes » dans les estimations des externalités<sup>12</sup>. Les recherches futures pourraient porter sur une meilleure évaluation d'externalités telles que la sécurité et la diversité des approvisionnements, ainsi que la perte du couvert forestier ; les taux d'actualisation applicables à très long terme et la valeur de la vie statistique ; l'intégration du progrès technologique dans

l'ACV ; l'évaluation des mesures de politique énergétique à l'aide de l'ACV ; la réduction des incertitudes qui entourent les estimations des coûts externes ; ainsi que sur la création d'une base de données contenant des informations sur l'évaluation des externalités et la façon de l'utiliser, éventuellement sous les auspices de l'AIE/AEN. ■

### Notes

1. AEN/AIE (2002), *Externalities and Energy Policy: The Life Cycle Analysis Approach, Workshop Proceedings, 15-16 novembre 2001*, OCDE, Paris : également accessible sur les sites web des deux agences.
  2. Commission européenne (1995), *Coûts externes de l'énergie, vol. 2*, Commission européenne, Bruxelles-Luxembourg.
- Exposés de l'atelier « Externalities and Energy Policy: The Life Cycle Analysis Approach », 15-16 novembre 2001, Paris :
3. A. Rabl et J.V. Spadaro, « The ExterneE Project: Methodology, Objectives and Limitations ».
  4. C. Schieber et T. Schneider, « The External Cost of the Nuclear Fuel Cycle ».
  5. L. Wibberley, « A Life Cycle Perspective of Coal Use ».
  6. F.H. Koch, « Hydropower - Internalised Costs and Externalised Benefits ».
  7. J. Cadu, « Well-to-wheel Energy Analysis Study ».
  8. E. Furuholt, « Life Cycle Analysis as a Basis for Evaluating Environmental Impacts of Energy Production » et M. Darras, « From Life Cycle Analysis Approach to Monetisation of the Impacts: An Evaluation in Terms of Decision Process ».
  9. P. Frankl, « Life Cycle Assessment of Renewables: Present Issues, Future Outlook and Implications for the Calculation of External Costs ».
  10. A. Voss, « LCA/External Costs in Comparative Assessment of Electricity Chains. Decision Support for Sustainable Electricity Provision? ».
  11. M.A. Delucchi, « Life Cycle Analysis and External Costs in Transportation ».
  12. D. Pearce, « Energy Policy and Externalities: An Overview ».

# Réaménagement de l'environnement des sites de production d'uranium

La santé humaine et l'environnement figurent au tout premier rang des priorités du public. La société civile se montre de plus en plus préoccupée par la dégradation de l'environnement au plan local imputable à des problèmes tels que les embouteillages et la pollution atmosphérique, et les preuves croissantes des effets nocifs du développement industriel sur l'environnement à l'échelle planétaire (pluies acides, réchauffement de la planète, et perte de biodiversité).

Ces préoccupations et priorités ont aussi des incidences croissantes sur l'industrie de l'extraction et du traitement du minerai d'uranium en raison :

- de prescriptions plus strictes imposées aux nouvelles installations par de nombreux pays sous la forme d'autorisations du point de vue de l'environnement ;
- du grand nombre d'installations de production d'uranium qui ont été mises hors service ces dernières années et nécessitent un réaménagement ;
- des mesures de remise en état et de restauration qui sont à l'étude pour de nombreux anciens sites, définitivement fermés ;
- de nouveaux projets qui font l'objet d'évaluations plus rigoureuses avant que des autorisations ne soient accordées.

\* M. John Geidl travaille au Ministère de l'Énergie des États-Unis, Département de la gestion de l'information (mél : john.geidl@eia.doe.gov) ; M. Ivan Vera, autrefois de l'Agence pour l'énergie nucléaire, travaille maintenant à l'Agence internationale de l'énergie atomique (mél : i.vera@iaea.org) ; M. Robert R. Price est membre de la Division du développement de l'énergie nucléaire de l'AEN (mél : robert.price@oecd.org).

## Le réaménagement de l'environnement des sites de production d'uranium englobe notamment :

- le démantèlement et la décontamination des structures redondantes ou désaffectées se trouvant sur un site ;
- la dépollution de tous les sols et eaux contaminés ;
- l'assainissement du site à un niveau se prêtant à l'utilisation qu'il est prévu d'en faire ;
- la gestion de tous les déchets qui en résultent.

Le rapport récemment publié par l'AEN/AIEA et intitulé *Réaménagement de l'environnement des sites de production d'uranium*, analyse la manière dont les prescriptions et principes en matière d'environnement sont abordés dans les installations de production de l'uranium, en particulier après la cessation de la production. Il présente un résumé des aspects et pratiques les plus pertinents des programmes de réaménagement relatifs aux installations de production d'uranium, ainsi qu'un aperçu des activités et projets existant dans les 22 pays ayant participé à cette étude (12 pays Membres de l'OCDE et 10 pays non membres de l'OCDE). Huit éléments principaux du réaménagement de l'environnement sont évalués, s'agissant de leur application à des installations de production d'uranium : les critères, politiques et règlements en matière d'assainissement ; la caractérisation des sites ; la décontamination, le démantèlement et le déclassement ; la gestion des

déchets ; le traitement des eaux ; la prise en charge et la surveillance à long terme ; les coûts et le financement ; ainsi que l'analyse et la gestion des risques.

### Critères, politiques et règlements en matière d'assainissement

De nombreux pays ont adopté ou sont en train d'adopter des politiques visant à améliorer et à renforcer la santé et la sûreté des travailleurs et du public, la protection de l'environnement, le développement durable au plan économique, social et écologique, et la participation du public à la prise de décision en matière d'environnement. Les programmes de réaménagement ont pour objectif principal d'établir des conditions stables à long terme permettant aux générations actuelles et futures d'utiliser ces sites en toute sécurité. Dans tous les cas où cela est possible, il s'agit de restaurer dans les zones atteintes les conditions d'environnement antérieures à la production d'uranium ou d'y permettre une utilisation des sols bénéficiant de l'assentiment de toutes les parties prenantes, qui soit durable à long terme. Les incidences des travaux de réaménagement doivent être maintenues « au niveau le plus faible qu'il soit raisonnablement possible d'atteindre » (principe ALARA) pour les populations locales et l'environnement.

Dans bien des cas, des collectivités de taille différentes, pouvant aller de petits campements à de grandes villes, se sont développées en liaison avec les activités minières ou en sont devenues tributaires. L'arrêt de ces activités d'extraction et de traitement peut avoir des conséquences sociales notables pour ces collectivités et ces effets doivent être pris en compte dans le processus de planification.

### Caractérisation des sites

Les programmes de réaménagement de l'environnement sont élaborés sur la base de la caractérisation du site avant et après exploitation, qui sert aussi à mesurer les progrès réalisés dans la voie de la conformité. La caractérisation comprend le recueil de données sur les propriétés hydrologiques, climatologiques, géologiques, géotechniques et écologiques du site et de ses environs. Il convient également d'étudier le type de méthodes d'extraction et de traitement du minerai employé ainsi que les types de déchets produits. Pour mener le réaménagement à bonne fin, il est indispensable de recueillir et d'utiliser des données de caractérisation du site, et de pouvoir en disposer.

### Décontamination, démantèlement et déclassement

Dans le cadre du plan convenu d'utilisation des sols, une décision est prise au sujet de l'utilisation future de l'infrastructure liée à la mine. Un programme de réaménagement comporte souvent le déclassement et la suppression de tous les bâtiments, usines, laboratoires, entrepôts de produits chimiques et autres, terrains d'aviation, etc. qui ne sont plus nécessaires. Peut-être sera-t-il nécessaire de supprimer des routes, bien qu'elles soient souvent maintenues pour permettre au personnel de contrôle et de surveillance appelé à visiter le site après la fin des travaux d'y accéder et à la collectivité d'en faire usage.

Plusieurs éléments d'une installation d'extraction et de traitement du minerai d'uranium sont susceptibles de se trouver sous le niveau du sol. Il s'agit notamment du chantier minier lui-même, des sous-sols, des installations de stockage, des dépôts d'explosifs, des concasseurs, des silos, des tunnels de service et des conduites de câbles. Ces installations peuvent soit être laissées en souterrain et éventuellement remblayées, soit devoir être supprimées pour dégager le terrain en vue de nouveaux travaux de fondations.

Certains sites contaminés par la radioactivité doivent être décontaminés dans le cadre du processus de déclassement. Il est indispensable d'observer strictement, dans toute activité de décontamination, les règles et règlements visant la sécurité du public et des travailleurs. Les techniques de décontamination comprennent le décapage ou le défonçage au marteau piqueur, le sablage, le lavage et le nettoyage au jet d'eau à haute pression, le lessivage aux solvants chimiques, les peintures pelables et le traitement des eaux.

### Gestion des déchets

Les activités minières engendrent des déchets de différents types qui nécessitent tous un mode de gestion approprié. Ces déchets comprennent aussi bien les résidus issus des travaux de traçage et provenant des premières excavations (par exemple, des matériaux du sol, des roches non minéralisées, des minerais présentant des niveaux de minéralisation non rentables ou des teneurs élevées en contaminants) que des déchets de traitement dont la majeure partie est constituée par des résidus des usines de concentration. Les déchets issus du traitement des eaux, ainsi que les résidus des procédés d'assainissement et de démantèlement, doivent aussi être gérés. Lors de la fermeture, il convient de déclasser et, le cas

échéant, de réaménager les installations de gestion des déchets d'extraction et de traitement du minerai, afin d'assurer leur stabilité à long terme.

Les résidus des usines de concentration constituent une catégorie de déchets qui pose des problèmes particuliers. Le confinement définitif de ces résidus est d'ordinaire l'un des aspects les plus importants du réaménagement d'un site de mine d'uranium en raison du risque pour l'environnement et le public imputable à leur volume physique important et aux contaminants radiologiques et chimiques qui leur sont liés.

### Traitement de l'eau

L'eau est l'une des principales voies par lesquelles la contamination peut atteindre l'environnement par suite des activités d'extraction et de traitement du minerai d'uranium. Dans les opérations d'extraction, le dénoyage des mines en souterrain et à ciel ouvert peut produire des eaux contaminées par des polluants radioactifs ou chimiques. L'eau pourrait aussi se trouver contaminée par suite du ruissellement à la surface des tas de stériles et des tas de minerai, ainsi que des infiltrations à travers ceux-ci, tout comme des infiltrations à partir des bassins de décantation des résidus. Le réaménagement de l'environnement de toute installation de production d'uranium peut donc devoir comporter la restauration de la qualité des eaux souterraines et des eaux de surface et le traitement des effluents provenant des installations de gestion des déchets, telles que les bassins de décantation des résidus.

### Prise en charge et surveillance à long terme

Lorsque des installations minières sont fermées, une surveillance peut être requise pendant une période prolongée pour vérifier que les installations fermées n'entraînent pas d'incidences nuisibles sur la santé humaine ou l'environnement. Le recours à la surveillance à long terme comme élément du plan de déclassement constitue, en fait, une forme de prise en charge ou de contrôle institutionnel à long terme, qui est souvent assumé par l'État.

### Coûts et financement

Le cadre réglementaire régissant l'exploitation minière moderne du minerai d'uranium dans de nombreux pays oblige les producteurs d'uranium à tenir compte des coûts de déclassement et de réaménagement, ainsi qu'à prendre les dispositions

financières nécessaires pour couvrir ces coûts pendant la durée de vie utile des installations. Toutefois, l'une des principales préoccupations est de savoir comment faire observer les normes modernes de protection de l'environnement en des lieux où les pratiques minières antérieures n'étaient pas soumises aux niveaux actuels plus rigoureux de contrôle réglementaire, et ont laissé en héritage des sites et des installations abandonnées. Nombre de ces sites nécessitent une action corrective en vue de réduire les niveaux de risque pour les travailleurs, le public et l'environnement. Ce problème est particulièrement épineux dans le cas des pays actuellement confrontés à des difficultés économiques et où la charge du réaménagement incombe à l'État.

### Analyse et gestion des risques

Le réaménagement des installations d'extraction et de traitement du minerai d'uranium est une activité qui oblige à recourir à une analyse et à une gestion appropriées des risques à tous les stades du processus. Une gestion des risques environnementaux, en particulier, devrait être appliquée pour optimiser les résultats des travaux de réaménagement. Dans ce contexte, l'analyse des risques environnementaux est de très vaste portée et devrait considérer les collectivités avoisinantes comme un élément de l'environnement, ce qui implique que les risques pour la santé deviennent partie intégrante de l'analyse des risques. Il faut aussi tenir compte, dans l'analyse des risques et dans la gestion qui en découle, des risques classiques et radiologiques provenant de l'activité de réaménagement proprement dite, comme l'utilisation d'équipement lourd.

### Conclusion

Les programmes de réaménagement concernant les installations de production d'uranium dans le monde ont pour objectif principal d'établir des conditions stables à long terme permettant aux générations actuelles et futures d'utiliser ces sites en toute sécurité. Dans toute la mesure du possible, le plan de réaménagement vise à restaurer les conditions initiales d'environnement dans les zones atteintes ou à permettre une utilisation des sols qui soit durable à long terme. En plus d'une législation sur les activités de réaménagement, de nombreux pays ont appliqué des critères très stricts dès la phase d'aménagement des mines d'uranium de manière à ce que les programmes de réaménagement ultérieurs puissent pleinement atteindre ces objectifs. ■

# Indicateurs d'efficacité et d'efficience des autorités de sûreté nucléaire

**E**n 1998, le Comité sur les activités nucléaires réglementaires (CANR) de l'AEN/OCDE a entrepris une activité destinée à déterminer comment mesurer et améliorer l'efficacité du contrôle des installations nucléaires par les autorités de sûreté. Cette activité a donné lieu à la publication, entre autres, de « *Améliorer l'efficacité des autorités de sûreté nucléaire* »<sup>1</sup>. En préparant ce document, le Groupe de travail a examiné, notamment, la valeur ajoutée apportée par l'autorité de sûreté par l'instauration de conditions propices à une exploitation de l'énergie nucléaire respectueuse de l'environnement, sûre et sans danger. Il a conclu qu'il convenait de s'efforcer de déterminer s'il était possible de mesurer l'efficacité des autorités de sûreté et d'obtenir ainsi des résultats utiles. Le Groupe de travail a donc commencé à rassembler une série expérimentale d'indicateurs à utiliser dans un projet pilote démarant en mars 2002 pour une durée d'un an. À cet effet, quelque 45 indicateurs potentiels ont été répertoriés.

## Indicateurs de performance

Des indicateurs de types divers sont utilisés dans de nombreuses organisations. Même si les indicateurs économiques sont les plus courants, il en existe beaucoup d'autres : nombre de jours de congé maladie, pourcentage de rotation des effectifs ou pyramide des âges, par exemple. On peut classer les indicateurs de performance de plusieurs manières. Néanmoins pour les autorités de sûreté, la méthode la plus utile consiste à les subdiviser en deux catégories : les indicateurs *directs* et *indirects*.

Les indicateurs de performance directs cherchent à mesurer les résultats des activités des autorités de sûreté, elles-mêmes, alors que les indicateurs indirects se basent sur les indicateurs de performance des autres parties prenantes, principalement les exploitants, pour en déduire les performances des autorités de sûreté.

Les indicateurs de performance directs présentent l'avantage de fournir une mesure relativement claire des aspects pertinents des performances de l'autorité de sûreté mais ils ont l'inconvénient de ne donner aucune indication sur sa mission fondamentale et les résultats qu'elle est censée obtenir, à savoir une réduction du risque et un bon niveau de sûreté chez les exploitants. En revanche, si les indicateurs de performance indirects peuvent mettre en évidence ce type de résultats, la prudence s'impose car il est difficile d'isoler la contribution de l'autorité de sûreté à la réalisation du résultat final.

Pour parvenir à une idée générale des performances des autorités de sûreté, il faut prendre en compte plusieurs facteurs. Le Groupe de travail a donné une définition en cinq points de l'efficacité de l'autorité de sûreté qui se décompose comme suit. Une autorité de sûreté efficace est celle qui :

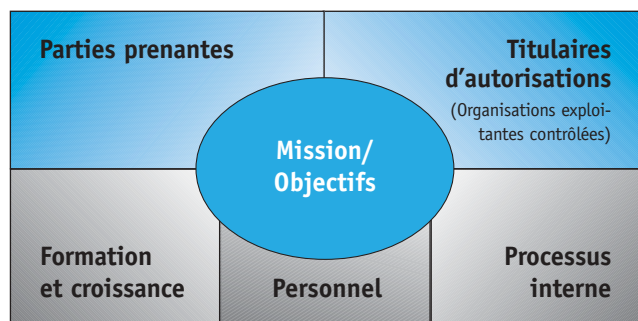
- veille au maintien d'un niveau de sûreté acceptable par les organisations exploitantes qu'elle contrôle (les titulaires des autorisations) ;

\* M. Barry Kaufer est membre de la Division de la sûreté nucléaire de l'AEN (mél : [barry.kaufer@oecd.org](mailto:barry.kaufer@oecd.org)) ; M. Kurt Asmis est consultant auprès de la Division de la sûreté nucléaire de l'AEN (mél : [kurt.asmis@oecd.org](mailto:kurt.asmis@oecd.org)).

- acquiert et préserve un niveau de compétence satisfaisant ;
- prend les mesures appropriées pour éviter la dégradation de la sûreté et favoriser son amélioration ;
- accomplit ses fonctions réglementaires dans des délais et des conditions économiques satisfaisantes et de façon à inspirer confiance tant aux organisations exploitantes, qu'au grand public et aux instances gouvernementales ;
- s'efforce d'améliorer en permanence ses performances.

Ces différents points forment les cinq « domaines de performance à l'étude » pour le projet pilote. Ils cadrent par ailleurs parfaitement dans les systèmes de gestion des performances habituellement utilisés, comme le tableau de bord prospectif. Il est ainsi possible d'exploiter, voire d'appliquer le cas échéant, les expériences décrites dans les documents consacrés à la mise en œuvre des programmes d'indicateurs de performance ainsi que les enseignements tirés à ce sujet dans divers organismes publics.

Figure 1. Tableau de bord prospectif de l'efficacité des autorités de sûreté



Il ressort de cette figure que la mission, et les objectifs qui en découlent, sont fondamentaux pour le travail de l'autorité de sûreté. Du point de vue de la sûreté seulement, sa mission sera remplie si les exploitants, représentés en haut à droite dans le rectangle, font face à leurs responsabilités et exploitent des installations sûres. Néanmoins, pour une autorité de sûreté, ne se focaliser que sur les titulaires d'autorisation reviendrait au même que, pour une entreprise, de ne s'intéresser qu'aux résultats. Ce qu'apporte le tableau de bord prospectif à la gestion est la nécessité d'une vision plus large qui sera profitable à long terme. Un travail de préparation, associé à des mécanismes d'information en retour sur la formation sont indispensables pour la formation et la motivation du personnel ainsi que pour la conception et la fourniture

de processus et de produits de grande qualité. Ce travail « précurseur » est représenté dans les rectangles inférieurs de ce diagramme. Le tableau de bord prospectif classique comporte quatre rectangles : finances, clients, formation et croissance, processus interne. Pour les autorités de sûreté nucléaire, les quatre rectangles concernent la sûreté, les parties prenantes, la formation et la croissance, et le processus interne ; un « cinquième rectangle » vient souligner l'importance du personnel.

Après mûre réflexion, la décision a été prise de créer une série d'indicateurs de performance organisée suivant une structure hiérarchique commençant par les objectifs finals et ensuite subdivisée, en fonction du périmètre d'activité de l'autorité de sûreté, en un ensemble logique d'indicateurs relatifs aux parties prenantes internes et externes. Les parties prenantes internes sont constituées par le personnel de l'autorité de sûreté. Les parties prenantes externes incluent les exploitants, le public, la communauté technique et la communauté internationale. Ainsi, les indicateurs de performance devraient donner une image globale de la « santé de l'autorité de sûreté », dans les limites bien sûr des techniques les plus modernes de gestion des performances basées sur les résultats.

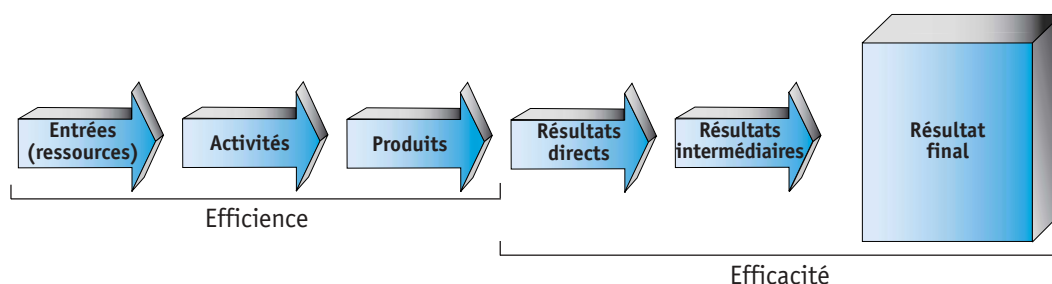
## Le projet pilote

Plusieurs autorités de sûreté<sup>2</sup> participent au projet ; elles étudieront une série d'indicateurs choisis pour le projet. La décision a été prise de se limiter aux indicateurs directs mais, en parallèle, un groupe réunissant des spécialistes de la sûreté et de la réglementation de l'AEN étudie le problème sous l'angle des indicateurs classiques (indirects) de performance des centrales. La plupart des indicateurs directs choisis caractérisent l'efficience des activités réglementaires (c'est-à-dire les produits) ; certains des indicateurs mesurent des éléments de l'efficacité de l'autorité de sûreté (par exemple l'opinion des parties prenantes sur l'autorité de sûreté). La chaîne logique de la figure 2 illustre les différents domaines où l'efficience et l'efficacité peuvent être mesurées. Elle constitue par ailleurs un « carnet de route » qui indique comment les ressources introduites sont destinées à produire l'état final souhaité, représenté sur la figure 1. Les indicateurs de performance sont placés à divers points de cette chaîne entrée-sortie où ils aideront les décideurs à procéder aux modifications qui s'imposent pour parvenir aux objectifs finals recherchés.

La suite de flèches commence par les entrées (ressources) utilisées pour mener à bien les activités qui aboutissent à des produits. Le nombre



Figure 2. « Chaîne logique » de l'efficience et de l'efficacité des autorités de sûreté



d'inspections qui sont réalisées dans l'installation d'un exploitant est un exemple type de produit. Ces inspections influenceront sur le résultat direct, à savoir le respect des règles et des règlements par l'exploitant. En résultat intermédiaire, elles feront naître au sein du personnel de l'exploitant une culture de sûreté positive et anticipative. Le résultat final sera une installation nucléaire sûre, des incidents plus rares, ce qui suscitera la confiance du public et des parties prenantes.

Le projet combinera également une série de mesures avancées et retardées. Dans la chaîne logique, le nombre des inspections réalisées au cours d'une période planifiée sont des indicateurs retardés qui signalent l'achèvement d'activités selon les plans. Les indicateurs mesurant une culture de sûreté positive et anticipative au sein du personnel des autorités de sûreté seront des indicateurs avancés de la confiance du public. Les indicateurs de performance seront suivis sur une période d'un an, et des rapports seront rédigés sur la pertinence des indicateurs de performance comme outils de mesure de l'efficacité générale et des possibilités de formation et de croissance.

Le projet pilote se caractérise par six objectifs principaux :

- acquérir une expérience pratique de la collecte d'informations et de données dans les cinq domaines de performance à l'étude ;
- déterminer si les indicateurs de performance pilotes se rapportent à des domaines de performance à l'étude (cela permet également de tester leur utilité et leur pertinence) ;
- identifier les indicateurs de performance manquant ou faisant double emploi ;
- déterminer la valeur des indicateurs de performance, afin de favoriser le développement de la qualité interne, d'utiliser le pilote comme instrument d'information dans le cadre du processus d'évaluation de l'efficacité des autorités de sûreté et de contribuer au processus permanent d'amélioration du retour d'expérience ;

- diffuser les enseignements tirés de l'exercice ;
- rédiger des recommandations pour leur mise en œuvre.

Les résultats du projet pilote devraient permettre aux autorités de sûreté de juger de l'utilité des indicateurs à l'étude, de proposer un système d'indicateurs qui soit souple (c'est-à-dire un système dans lequel il est facile de retirer, d'ajouter ou de réviser des indicateurs) et de recommander un système donnant un instantané de l'état des travaux d'une organisation et de confronter ces résultats aux stratégies et objectifs actuels de cette organisation. Le projet pilote devrait durer une année, un délai indispensable pour saisir pleinement les effets d'un cycle de planification, de budgétisation et de présentation des résultats.

## Conclusions

Les indicateurs étudiés sont destinés à mesurer les aspects quantitatifs ainsi que les aspects qualitatifs des travaux, sachant toutefois que les derniers soulèveront plus de difficultés. L'une des missions de ce projet pilote est d'aider à mesurer et observer, puis à caractériser les aspects les plus qualitatifs des résultats ou de l'action des autorités de sûreté. Ce projet pilote non seulement devrait permettre de mettre au point un outil de gestion de la qualité capable de mesurer l'efficacité des autorités de sûreté mais aussi devrait aider chacun des organismes participants à pouvoir s'améliorer. ■

## Notes

1. AEN (2001), *Améliorer l'efficacité des autorités de sûreté nucléaire*, OCDE, Paris.
2. Il s'agit des autorités de sûreté suivantes : la Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN) ; le Conseil de sûreté nucléaire espagnol (CSN) ; la Division principale suisse de la sécurité des installations nucléaires (HSK) ; le Ministère japonais de l'économie, du commerce et de l'industrie (METI) ; la *Nuclear Installations Inspectorate* du Royaume-Uni (NII) ; la *Nuclear Regulatory Commission* des États-Unis (NRC) ; le Service national d'inspection de l'énergie nucléaire de la Suède (SKI) et le Centre finlandais de radioprotection et de sûreté nucléaire (STUK).

# Conclusion du projet GEOTRAP sur la migration des radionucléides

La plupart des pays dotés de programmes électronucléaires, ont entrepris de construire des dépôts en formations géologiques pour leurs déchets radioactifs ou envisagent de le faire. Dans le cadre de l'évaluation des performances ou de la sûreté de ces dépôts, il est nécessaire de modéliser le transport des radionucléides à travers l'environnement géologique hétérogène. Le plus souvent, le transport dans les eaux souterraines représente un mode de migration important. C'est pourquoi la démonstration de la sûreté d'un dépôt exige d'étudier et de modéliser la migration des radionucléides dans la géosphère environnante. Le projet de l'AEN GEOTRAP (étude de la migration des radionucléides dans les milieux hétérogènes), dont les résultats sont publiés dans un rapport de synthèse résumant les conclusions des cinq ateliers organisés de 1996 à 2001 a permis de grandes avancées dans ce domaine.

Le projet GEOTRAP a été lancé par 29 organisations nationales de 13 pays et de la Commission européenne. Au dernier atelier, 15 pays étaient représentés par 9 agences de gestion des déchets, 8 autorités de sûreté, 22 laboratoires de recherche travaillant pour les gestionnaires de déchets ou les autorités de sûreté, 18 universités, 17 bureaux d'étude privés spécialistes des déchets radioactifs et un organisme d'expertise technique. Ce forum a donc permis de réunir des informations de diverses origines sur différents sites géologiques, concepts de dépôt, méthodes de caractérisation, expériences, modèles et programmes d'aménagement à divers stades d'avancement.

Pour comprendre et modéliser le transport des radionucléides dans la géosphère, il faut identifier les principaux mécanismes, par exemple ceux qui sont susceptibles de retarder ou de retenir ces éléments, et mesurer les paramètres qui régissent ces mécanismes de retard et de rétention. Ces

informations doivent ensuite être regroupées en un ou plusieurs modèles conceptuels cohérents qui concordent avec toutes les données disponibles, ce qui permet ensuite d'établir une représentation numérique de ce modèle conceptuel. Créer un modèle numérique comporte inévitablement des simplifications dans la représentation de l'hétérogénéité du milieu mais aussi des mécanismes en jeu. Le modèle finalement utilisé pour les calculs de performances, en particulier, peut être une représentation simplifiée de modèles des mécanismes, qui sont déjà eux-mêmes des représentations simplifiées de la nature. Pour être sûr que le modèle final est adapté à son objectif, il faut avoir confiance dans toutes les étapes de sa construction.

Toutes ces activités doivent être bien coordonnées et intégrées. On a donc besoin d'un mécanisme permettant aux différents ingénieurs, scientifiques et décideurs d'échanger des informations sur les expériences, données et modèles et d'identifier les atouts, faiblesses, limites de leurs travail, les hypothèses employées, etc. Ceux qui produisent les données (équipes de reconnaissance de sites et chercheurs en laboratoire) doivent communiquer avec les utilisateurs de ces données (évaluateurs) pour s'assurer que les données produites sont bien celles dont on a besoin et qu'elles sont utilisées correctement lors des modélisations. Si cette communication est indispensable pour chaque programme d'aménagement de dépôt, les échanges, sur des programmes différents, entre autorités de sûreté et gestionnaires de déchets, et entre les spécialistes du stockage et la communauté scientifique

*\* Mme Sylvie Voinis est membre de la Division de la protection radiologique et de la gestion des déchets radioactifs de l'AEN (mél : sylvie.voinis@oecd.org). M. Richard Beauheim est membre principal du personnel technique à Sandia National Laboratories (mél : rlbeaub@sandia.gov).*

### Les cinq ateliers GEOTRAP

Thème	Lieu	Date	Hôte
1. Importance des expériences de traçage de terrain pour la prévision de la migration des radionucléides	Cologne, Allemagne	28-30 août 1996	Gesellschaft für Anlagen und Reaktorsicherheit (GRS)
2. Modélisation des effets de la variabilité spatiale sur la migration des radionucléides	Paris, France	9-11 juin 1997	Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (ANDRA)
3. Caractérisation des éléments conducteurs d'eau et leur représentation dans les modèles de migration des radionucléides	Barcelone, Espagne	10-12 juin 1998	Empresa Nacional de Residuos Radioactivos (ENRESA)
4. Confiance dans les modèles de transport des radionucléides utilisés pour les évaluations des performances de sites particuliers	Carlsbad, NM États-Unis	14-17 juin 1999	United States Department of Energy (USDOE)
5. Observation géologique et fondements théoriques des mécanismes de rétention des radionucléides dans les milieux hétérogènes	Oskarshamn, Suède	7-9 mai 2001	Svensk kärnbränslehantering AB (SKB)

en général sont, eux aussi, très bénéfiques. Le Projet GEOTRAP a été conçu comme un forum international ouvert pour des échanges ciblés sur la migration des radionucléides dans la géosphère. Les thèmes des cinq ateliers GEOTRAP sont présentés sur le tableau ci-dessus.

#### Expériences de traçage de terrain

Le premier atelier était consacré aux expériences de traçage réalisées sur le terrain pour étudier la répartition des écoulements souterrains, caractériser les chemins de circulation potentiels et tester différentes conceptualisations des écoulements et du transport de nucléides sur des sites sélectionnées et à différentes échelles. Ces expériences fournissent des informations fondamentales, parfois inattendues, pour la mise au point et les tests de modèles conceptuels. Elles constituent probablement le seul moyen de tester les hypothèses faites pour passer de l'échelle du laboratoire aux conditions sur le terrain et, plus généralement, de tester les modèles de transport et de rétention dans des conditions adaptées aux évaluations des performances.

#### Modélisation de la variabilité spatiale du milieu géologique

La variabilité (ou l'hétérogénéité) est un trait caractéristique de la plupart des milieux géologiques sur un large éventail d'échelles spatiales.

Elle détermine sur le choix des sites de dépôt, l'architecture optimale du dépôt et sa sûreté à long terme. Il existe une panoplie de techniques tant pour caractériser la variabilité spatiale dans le cadre des études géologiques d'un site que pour modéliser les conséquences de la variabilité sur les écoulements d'eaux souterraines et le transport des radionucléides.

#### Éléments conducteurs d'eau

La caractérisation de la structure et des propriétés des voies privilégiées de circulation des eaux, ou éléments conducteurs d'eau, est essentielle pour l'évaluation des performances. Ces éléments peuvent notamment déterminer la vitesse de migration des radionucléides avec les eaux souterraines et leur degré de rétention dans la géosphère. Le transport des radionucléides à travers ces éléments a néanmoins été traité le plus souvent à l'aide de méthodes conservatives assez simplifiées.

#### Confiance accordée aux modèles

De nombreuses organisations étudient encore la nature et l'importance des mécanismes d'acquisition de la confiance. C'est pourquoi le quatrième atelier GEOTRAP était consacré aux méthodes suivies dans les programmes nationaux de gestion des déchets pour évaluer, améliorer et communiquer la confiance que l'on peut accorder aux

modèles de transport des radionucléides appliqués à l'évaluation des performances d'un site particulier.

## Mécanismes de rétention

La rétention des radionucléides sur de longues périodes dans un système multibarrières (comportant le colis de déchets, le remblayage et la géosphère) est une fonction de sûreté majeure des concepts de dépôts en formation géologique. Dans la géosphère, il existe une série de caractéristiques qui favorisent la rétention des radionucléides. Le cinquième atelier GEOTRAP a permis de faire le tour des fondements théoriques et des observations justifiant l'existence et la modélisation de ces phénomènes, en mettant l'accent sur les observations géologiques et données de terrain et sur la façon de traiter les mécanismes de rétention dans les évaluations des performances.

## Conclusions

Dans les conclusions et recommandations des ateliers GEOTRAP, cinq points reviennent régulièrement et peuvent être considérés par conséquent comme des principes à respecter dans la suite des travaux :

1. Les responsables de la caractérisation des sites (expérimentateurs) et ceux qui réalisent les évaluations des performances (modélisateurs) doivent pouvoir communiquer à tout moment. Les expérimentateurs doivent comprendre et approuver la façon dont le système est modélisé et leurs données utilisées dans les modèles, mais aussi les limites des modèles, la nature et la justification des données spécifiques nécessaires pour les alimenter. De leur côté, les modélisateurs doivent comprendre comment les expérimentateurs se représentent le système, les limites des données existantes, quelles sont les données qui peuvent être recueillies et celles qui ne peuvent pas l'être, ainsi que les contextes dans lesquels les données peuvent être considérées comme valables. Ces échanges et cette compréhension mutuelle font avancer la science et créent en outre un climat de confiance quant à la qualité du travail technique réalisé. Pour assurer la communication, on peut, entre autres, faire participer les expérimentateurs aux évaluations des performances, et les modélisateurs à la conception des expériences.
2. Par rapport aux représentations du système que l'on peut introduire dans des modèles d'évaluation des performances nécessairement

simplifiés, il faut une connaissance bien plus approfondie du système pour pouvoir avoir confiance dans l'évaluation des performances et le dossier de sûreté. La caractérisation du site doit à cet égard permettre une compréhension globale du système, recouvrant notamment l'identification des mécanismes en jeu et la quantification des paramètres importants.

3. Il faut poursuivre les efforts pour améliorer l'intégration des différents types de données, intégration qui peut être tant quantitative que qualitative. Les données obtenues en laboratoire ou sur le terrain serviront à réduire le nombre de paramètres libres dans les modèles utilisés pour d'autres expériences, par exemple, d'utiliser des mesures de la porosité des matériaux de remplissage des fractures pour contraindre les modèles d'expériences de traceurs. Les données d'expériences ou les observations faites à différentes échelles peuvent être intégrées dans les modèles à une plus large échelle pour l'évaluation des performances.
  4. Il est très enrichissant de s'intéresser à des domaines autres que la gestion des déchets radioactifs et d'exploiter les savoirs de spécialistes d'autres disciplines scientifiques et techniques. Ces derniers peuvent d'ailleurs être consultés pour des expertises plus générales et donc plus valides.
  5. La communication entre les gestionnaires de déchets et les autorités de sûreté à tous les stades du processus d'aménagement d'un dépôt est essentielle. C'est un moyen pour les autorités de sûreté d'obtenir des informations et de communiquer en retour leurs points de vue sur les orientations techniques suivies par le gestionnaire de déchets, mais aussi de comprendre les limites des données et des modèles. L'agence de gestion des déchets, quant à elle, connaîtra ainsi mieux les attentes de l'autorité de sûreté et pourra modifier son programme en conséquence. Cette communication ne doit cependant en aucun cas compromettre, en apparence ou en réalité, l'indépendance de l'autorité de sûreté.
- Ces principes peuvent s'appliquer à d'autres domaines que le transport de radionucléides à travers la géosphère. Ils concernent tout autant la plupart des aspects des programmes d'aménagement de dépôts de déchets radioactifs. De cette manière, ils montrent la voie à suivre dans tous les programmes nationaux d'aménagement de dépôt, mais aussi pour les futurs projets de collaboration internationale de l'AEN. ■

# Nouvelles brèves

## Expertise internationale d'un dépôt de déchets radioactifs

L'AEN a pour mandat d'enrichir et d'harmoniser la base technique indispensable à la gestion des problèmes liés aux déchets nucléaires dans ses pays Membres et dans ce cadre réalise des expertises. Elle a ainsi effectué des expertises pour les programmes nationaux du Japon, de la Suède, du Royaume-Uni et des États-Unis. L'expertise la plus récente concernait le *Total System Performance Assessment* (TSPA-SR) destinée à appuyer la procédure de recommandation du site du Projet de Yucca Mountain aux États-Unis.

Depuis plus de 15 ans, le ministère de l'Énergie des États-Unis (DOE) étudie le site de Yucca Mountain afin de déterminer s'il est possible d'y construire le premier dépôt souterrain pour le combustible usé et les déchets de haute activité d'origine civile ou militaire du pays. Outre la caractérisation et l'élaboration du concept de dépôt, plusieurs évaluations des performances ont été réalisées ces dix dernières années.

L'expertise du TSPA-SR a été demandée par le ministère de l'Énergie des États-Unis et réalisée de juin à décembre 2001 par une équipe indépendante constituée de dix spécialistes internationaux, dont deux membres du Secrétariat commun de l'Agence pour l'énergie nucléaire (AEN) et de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA). Les membres de l'équipe appartenaient à plusieurs disciplines scientifiques et techniques intervenant dans les évaluations des performances des dépôts de déchets radioactifs.

Le principal objectif fixé à l'équipe internationale était d'analyser la méthodologie d'évaluation des performances et la logique employée par le DOE pour la procédure de recommandation du site, à savoir :

- identifier les points de convergence et les incohérences entre les méthodes suivies par le DOE et celles qui sont actuellement à l'étude ou mises au point dans des recommandations, normes et pratiques internationales ;

- se prononcer sur l'intérêt de la technique d'évaluation des performances adoptée pour justifier la décision de recommander le site ;
- formuler des recommandations détaillées concernant des améliorations spécifiques, techniques ou autres, à apporter pour que l'évaluation des performances soit mieux à même de justifier les prochains rendez-vous décisionnels, si le site est recommandé puis approuvé, ce qui suppose la préparation et le dépôt d'une demande d'autorisation.

Les conclusions générales de l'équipe internationale d'experts s'énoncent comme suit :

*Bien que susceptible d'améliorations, la méthodologie TSPA-SR repose sur des bases saines et a été appliquée avec compétence. De plus, la modélisation est à bien des égards prudente, notamment dans l'évaluation de la capacité de l'eau d'entrer en contact avec les colis de déchets, du comportement des barrières ouvragées et du retard de la migration des radionucléides par la géosphère.*

*Dans l'ensemble, l'équipe d'experts est d'avis que la méthode d'évaluation des performances constitue une bonne base pour juger de la conformité d'un projet sur la période réglementaire de 10 000 ans et de ce fait pour prendre la décision de recommander un site.*

S'agissant des évaluations futures :

*Étant donné le consensus international qui se fait jour, l'équipe d'experts préconise de mettre davantage l'accent, dans les prochaines analyses, sur la compréhension et le fonctionnement du système de dépôt et la façon dont il assure la sûreté, pendant et après la période réglementaire. De plus, il faudrait poursuivre les travaux pour acquérir une plus grande confiance dans la robustesse du TSPA.*

Cette expertise peut être téléchargée gratuitement depuis le site web de l'AEN à l'adresse [www.nea.fr](http://www.nea.fr). Des exemplaires papier sont disponibles à l'adresse donnée page 33. ■

# Nouvelles publications

## Aspects économiques et techniques du cycle du combustible nucléaire



### Le cycle du combustible nucléaire

Aspects économiques, environnementaux et sociaux

ISBN 92-64-29664-6 – 172 pages – Prix : € 37, US\$ 33, £ 23, ¥ 3 700.

Le rôle de l'énergie nucléaire dans une perspective de développement durable dépend de multiples facteurs dont un nombre important sont liés au cycle du combustible. Ce rapport décrit les développements et les tendances dans le domaine du cycle susceptibles d'améliorer la compétitivité et la durabilité des systèmes énergétiques nucléaires à moyen et long terme. Des critères et des indicateurs d'évaluation des futurs systèmes énergétiques nucléaires sont également présentés dans cet ouvrage. Préparé par des experts de l'industrie, de la recherche et d'agences gouvernementales, ce rapport s'adresse principalement aux personnes associées à l'élaboration des politiques et à la prise de décision relative à l'énergie nucléaire.



### Réaménagement de l'environnement des sites de production d'uranium

Rapport établi conjointement par l'AEN et l'AIEA

ISBN 92-64-29509-7 – 380 pages – Prix : € 70, US\$ 63, £ 43, ¥ 7 050.

Le réaménagement de l'environnement des sites des mines et usines de traitement d'uranium a pris un tournant majeur depuis quelques décennies. Les raisons de cette évolution sont multiples : un grand nombre d'installations ont été fermées ; la décontamination des anciens sites abandonnés est un souci croissant ; enfin, des règlements toujours plus stricts sont mis en place en vue de protéger l'environnement. Des programmes de réaménagement sont donc instaurés dans le but de rétablir l'environnement initial des sites contaminés ou de permettre l'utilisation libre des sols, le tout dans un cadre qui sache respecter les objectifs du développement durable à long terme et qui convienne à toutes les parties prenantes. Ce rapport résume les pratiques et les enjeux les plus importants des programmes visant à réaménager les installations de production d'uranium, puis brosse le tableau général des activités et des programmes spécifiques dans les pays participant à l'étude. Les thèmes abordés sont variés : caractérisation des sites, démantèlement et déclassement, installations de gestion des déchets, décontamination de l'eau, intendance et surveillance de longue durée, politiques et réglementation, et coûts. Les profils nationaux des activités et programmes de réaménagement s'appuient sur les réponses fournies par chacun des 22 pays (12 pays Membres de l'OCDE et 10 pays non membres) qui ont participé à l'enquête et comprennent des informations liées aux questions qui sont réputées les plus importantes dans chacun d'entre eux.



### Externalities and Energy Policy: The Life Cycle Analysis Approach

En anglais seulement

Workshop Proceedings, Paris, France, 15-16 November 2001

ISBN 92-64-18481-3 – 240 pages – Gratuit : versions papier ou web.

The International Energy Agency (IEA) and the OECD Nuclear Energy Agency (NEA) organised a workshop on "Externalities and Energy Policy: The Life Cycle Analysis Approach" to bring together policy makers and experts from governmental agencies and the industry to discuss key issues regarding the role and limitations of external cost evaluations and LCA results. The presentations and discussions reported in these proceedings will be of interest to senior analysts, policy makers and other stakeholders concerned with the sustainable development of the energy sector.



### Better Integration of Radiation Protection in Modern Society

En anglais seulement

Workshop Proceedings, Villigen, Switzerland, 23-25 January 2001

ISBN 92-64-19694-3 – 280 pages – Prix : € 60, US\$ 54, £ 37, ¥ 6 050.

These proceedings address the roles of various stakeholders in the radiation protection decision-making process, and their expectations regarding how a modern system of radiological protection should be integrated within the broader context of risk governance. Case studies are presented to illustrate good practice and as a basis for drawing conclusions regarding general lessons that can be applicable in many different national contexts.



### ISOE – Information System on Occupational Exposure

En anglais seulement

Ten Years of Experience

ISBN 92-64-18480-5 – 40 pages – Gratuit : versions papier ou web.

The Information System on Occupational Exposure (ISOE) was created in 1992 to provide a forum for radiation protection experts from both utilities and national regulatory authorities to discuss, promote and co-ordinate international co-operative undertakings in the area of worker protection at nuclear power plants. The ISOE System is jointly managed by the OECD Nuclear Energy Agency (NEA) and the International Atomic Energy Agency (IAEA). This report provides an overview of the experience gained from, and benefits provided by, the ISOE System over the past ten years.

## Gestion des déchets radioactifs

---



### La réversibilité et la récupérabilité dans la gestion des déchets radioactifs

Une réflexion à l'échelle internationale

ISBN 92-64-28471-0 – 54 pages – Gratuit : versions papier ou web.

La réversibilité des décisions est un concept important dans le processus de décision par étapes qui est prévu pour le stockage géologique des déchets radioactifs. Les implications liées à la récupérabilité de ces déchets dans les stratégies de stockage et les méthodes pour la mettre en application sont également à l'étude dans les pays Membres de l'AEN. Ce rapport passe en revue les concepts de réversibilité et de récupérabilité dans la mesure où ils peuvent s'appliquer à la planification et au développement de dépôts géologiques. Ces concepts reposent sur des considérations d'ordre technique, politique et éthique, dont la valeur et les implications doivent être mieux comprises. L'approfondissement de l'étude de ces problèmes, ainsi que la discussion, permettront de préciser la valeur d'un processus de décision souple et graduel pour les programmes d'aménagement de dépôts, et peuvent contribuer à instaurer un climat propice au progrès de ces programmes.



### Radionuclide Retention in Geologic Media

En anglais seulement

Workshop Proceedings, Oskarshamn, Sweden, 7-9 May 2001

ISBN 92-64-19695-1 – 272 pages – Prix : € 55, US\$ 49, £ 34, ¥ 5 550.

Retention of radionuclides within the geosphere for prolonged periods is an important safety function of deep geologic disposal concepts for radioactive waste. In addition to the material presented during the workshop, this publication includes a technical synthesis reflecting the discussions that took place as well as the conclusions and recommendations made, notably during the working group sessions.



## An International Peer Review of the Yucca Mountain Project TSPA-SR

En anglais seulement

Total System Performance Assessment for the Site Recommendation (TSPA-SR)

ISBN 92-64-18477-5 – 96 pages – Gratuit : versions papier ou web.

This report presents the results of the jointly organised NEA-IAEA international peer review of the TSPA-SR, performed upon the request of the USD OE. The review was carried out by a team of ten international specialists.



## GEOTRAP: Radionuclide Migration in Geologic Heterogeneous Media

En anglais seulement

Summary of Accomplishments

ISBN 92-64-18479-1 – 52 pages – Gratuit : versions papier ou web.

This report provides an overview of the project's main findings and accomplishments over its five-year life. This summary should help make the valuable information collected and generated by the GEOTRAP project accessible to a wide readership both within and outside the radioactive waste community.

## Législation nucléaire

---



### Bulletin de droit nucléaire

No. 68 + Supplément (Volume 2001/2)

Abonnement 2001 (2 numéros + suppléments) – ISSN 0304-3428 – Prix : € 71, US\$ 80, £ 48, ¥ 9 550.



### Législations nucléaires : étude analytique – Mise à jour 2001

Réglementation générale et cadre institutionnel des activités nucléaires

ISBN 92-64-29743-X – 200 pages – Prix : € 40, US\$ 36, £ 25, ¥ 4 000.

La mise à jour de 2001 remplace les chapitres portant sur l'Australie, le Canada, l'Espagne, la Hongrie, l'Italie, le Japon, le Luxembourg et la Norvège. De plus, elle propose un nouveau chapitre sur la République slovaque, devenue membre de l'OCDE le 14 décembre 2000. Une note d'information est également fournie pour la Pologne, dans l'attente d'une révision complète de ce chapitre après l'adoption d'une réglementation d'application de la nouvelle Loi atomique polonaise.

## Réglementation nucléaire/sûreté nucléaire

---



### Déclaration collective sur les installations et programmes de recherche en sûreté nucléaire menacés d'arrêt

Projets communs de l'OCDE et centres d'excellence

Bilingue – 16 pages – Gratuit : versions papier ou web.





## Examen des critères techniques de sûreté du combustible nucléaire

ISBN 92-64-29687-5 – 76 pages – Prix : € 20, US\$ 19, £ 12, ¥ 1 900.

On trouve dans le présent rapport de brèves descriptions de 20 critères de sûreté liés au combustible, ainsi qu'un exposé de leur raison d'être et des questions éventuelles liées aux nouveaux concepts et à leur exploitation, qui pourraient avoir une incidence sur ces critères. On n'a pas cherché à classer les critères en fonction d'un type d'événement ou de l'importance du risque. Le présent rapport s'adresse en particulier aux ingénieurs nucléaires travaillant sur la sûreté du combustible ainsi qu'à toute personne intéressée par les aspects généraux de la sûreté nucléaire.

## Sciences nucléaires et Banque de données

---



### Fission Gas Behaviour in Water Reactor Fuels

En anglais seulement

Workshop Proceedings, Cadarache, France, 26-29 September 2000

ISBN 92-64-19715-X – 564 pages – Prix : € 120, US\$ 107, £ 74, ¥ 12 100.

During irradiation, nuclear fuel changes volume, primarily through swelling. This swelling is caused by the fission products and in particular by the volatile ones such as krypton and xenon, called fission gas. Fission gas behaviour needs to be reliably predicted in order to make better use of nuclear fuel, a factor which can help to achieve the economic competitiveness required by today's markets.

These proceedings communicate the results of an international seminar which reviewed recent progress in the field of fission gas behaviour in light water reactor fuel and sought to improve the models used in computer codes predicting fission gas release. State-of-the-art knowledge is presented for both uranium-oxide and mixed-oxide fuels loaded in water reactors.



### Comparison Calculations for an Accelerator-driven Minor Actinide Burner

En anglais seulement

ISBN 92-64-18478-3 – 200 pages – Gratuit : versions papier ou web.

In 1999, the NEA organised a benchmark exercise for an accelerator-driven minor actinide burner to check the performances of reactor codes and nuclear data for ADS with unconventional fuel and coolant. The benchmark model was a lead-bismuth-cooled subcritical system driven by a beam of 1 GeV protons. This report provides an analysis of the results supplied by seven participants from eight countries. The analysis reveals significant differences in important neutronic parameters, indicating a need for further investigation of the nuclear data, especially minor actinide data, as well as the calculation methods. This report will be of particular interest to reactor physicists and nuclear data evaluators developing nuclear systems for nuclear waste management.



### PENELOPE – A Code System for Monte Carlo Simulation of Electron and Photon Transport

En anglais seulement

Workshop Proceedings, Issy-les-Moulineaux, France, 5-7 November 2001

ISBN 92-64-18475-9 – 250 pages – Gratuit : versions papier ou web.

PENELOPE is a modern, general-purpose Monte Carlo tool for simulating the transport of electrons and photons, which is applicable for arbitrary materials and in a wide energy range. PENELOPE provides quantitative guidance for many practical situations and techniques, including electron and x-ray spectroscopies, electron microscopy and microanalysis, biophysics, dosimetry, medical diagnostics and radiotherapy, and radiation damage and shielding. These proceedings contain the teaching notes of a recent workshop/training course on PENELOPE, with a detailed description of the physics, numerical algorithms and structure of the code system.

## 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, Japan  
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., Mexico  
Tél. : +52 (5) 281 3810 – Fax : +52 (5) 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, UK  
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)

Paielement 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)

# Radwaste Solutions

THE MAGAZINE OF RADIOACTIVE WASTE MANAGEMENT AND FACILITY REMEDIATION

— *Don't miss an issue!*

Don't miss an issue of *Radwaste Solutions*, formerly *Radwaste Magazine*, which focuses on practical solutions to everyday problems and issues in radioactive waste management.

Published by the American Nuclear Society, the magazine covers all sectors – government, utility, private – that deal with radioactive waste. Also, it covers all elements of this work, including processing, packaging, storing, decommissioning, reutilization, transporting, and final disposal.

With each issue of *Radwaste Solutions* you get progress reports on cleanup/remediation/decommissioning projects; news and views from industry leaders and professionals; coverage of industry conferences you can't find elsewhere; and technical information that can help your project.

Look at some of the articles that the magazine's recent issues have presented to our readers:



- Rethinking the disposition of Hanford tank wastes: A perspective
- International regional repositories: The key questions
- A new day for radioactive waste management activities in Korea
- Taking it step by step: Finland's decision-in-principle on final disposal of spent nuclear fuel
- Radwaste management at U.S. nuclear power plants: Where we are today (and how we got there)

On top of great content, we make it easy to subscribe. Take your choice: Give us a phone call (708/579-8208); send us a fax (708/579-8314); or zip us an e-mail (accounting@ans.org). We'll get the process moving so that you start receiving your own copy of *Radwaste Solutions*.

Please enter a 2002 subscription to *Radwaste Solutions* for:

Name \_\_\_\_\_

Company \_\_\_\_\_

Street Address \_\_\_\_\_

City \_\_\_\_\_ State/Province \_\_\_\_\_

Postal Code \_\_\_\_\_ Country \_\_\_\_\_

Tel. \_\_\_\_\_ Fax \_\_\_\_\_ E-mail \_\_\_\_\_

Add \$25 for each overseas subscription

Add \$30 for funds drawn on non-U.S. banks

(All orders must be prepaid in U.S. dollars.)

Payment method:

Check (payable to ANS)     Money order     MasterCard

Visa     AMEX     Diners Club

Acct. no. \_\_\_\_\_ Exp. date \_\_\_\_\_

Signature \_\_\_\_\_

Check one:

Yes! I want to subscribe to *Radwaste Solutions* at \$35.00 per year. (I am a member of the American Nuclear Society.)  
ANS Membership ID no. \_\_\_\_\_

Enter my library subscription at \$395.

Send to:

*Radwaste Solutions*  
American Nuclear Society  
P.O. Box 97781  
Chicago, IL 60678-7781  
USA

(Make check payable to American Nuclear Society)

Credit card orders:

Facsimile 708/579-8314  
ANS members call 708/579-8266  
Nonmembers call 708/579-8208



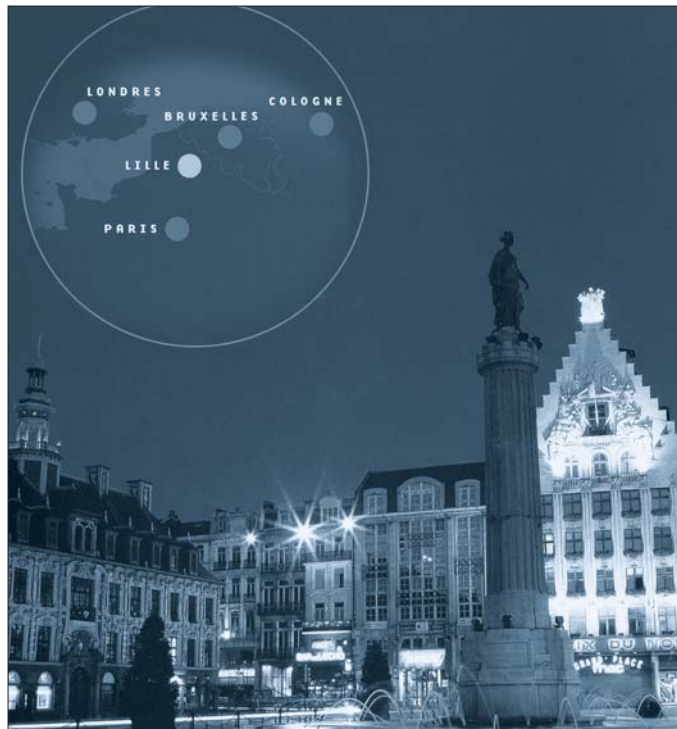
ENC 2002

Take your place at the center of the international nuclear industry this Fall and rendezvous in Lille, France for the

## **International Nuclear Congress and WORLD NUCLEAR EXPO**

**Organized by ENS and co-sponsored by  
ANS, FORATOM, NEI, OECD/NEA and WANO**

From October 7–9, 2002, Lille, which lies at the crossroads of five European capitals, will be the world's nuclear capital – playing host to CEO's, industry leaders and key commercial and political figures in the nuclear power industry.



Hear at first hand about developments, innovations and strategies and meet the organizations and decision-makers who are helping drive our industry forward.

Of course, all work and no play makes for a dull conference day, so when you register for this event be sure to set aside some time on your agenda to drink in the culture, sample the wines, feast your eyes on the scenery, dine as only the French know how ... and raise a glass to new-found contacts and business partners.

A bientôt à Lille!

Join our automatic mailing list to receive regular updates on the status of the conference and exhibition:  
ENS, P.O. Box 5032, CH-3001 Bern, Switzerland, fax: +41 58 286 6845, e-mail [ens@to.aey.ch](mailto:ens@to.aey.ch), [www.enc2002.org](http://www.enc2002.org)

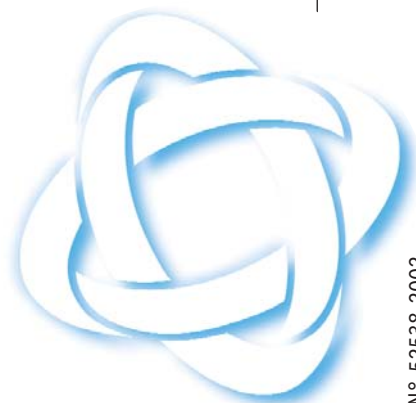
## Offre d'emplois

## 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.

Adresser les candidatures en anglais ou en français  
(indiquer le domaine de spécialisation et joindre un *curriculum vitae*)  
avec la mention « NEA/NL » et l'envoyer à :

Division de la gestion des ressources humaines  
OCDE  
2, rue André-Pascal  
F-75775 Paris cedex 16, France