

L'énergie nucléaire en 2006

Développement de l'énergie nucléaire

À la fin de 2006, 346 réacteurs étaient reliés au réseau dans les pays membres de l'OCDE et représentaient quelque 83,6 % de la puissance installée nucléaire mondiale et environ 23,1 % de la production totale d'électricité dans la zone de l'OCDE. En 2006, le Japon a mis en service un réacteur et d'autres pays de l'OCDE en ont fermé six (quatre au Royaume-Uni et un dans la République slovaque, tous le 31 décembre 2006, et un autre en Espagne plus tôt dans l'année).

Bien que les pays membres de l'OCDE continuent d'adopter des approches différentes face à la production et l'exploitation de l'énergie nucléaire, comprenant parfois des politiques officielles de moratoire ou d'élimination progressive (par exemple en Allemagne, Autriche, Belgique, Espagne, Italie et Suède), l'inquiétude croissante concernant la sécurité énergétique, la hausse des prix des combustibles fossiles et les émissions de dioxyde de carbone ont réactivé le débat sur le rôle que l'énergie nucléaire peut jouer dans la zone de l'OCDE et à travers le monde. Parmi les principales manifestations de ce regain d'intérêt international en 2006, on peut citer la position du G8 favorable à l'énergie nucléaire à l'issue de la réunion de Saint-Petersbourg ; le solide soutien accordé par la majeure partie des dirigeants de l'Union européenne à la relance de l'énergie nucléaire lors d'un sommet européen ; les recommandations formulées par les gouvernements

de l'Australie et du Royaume-Uni d'étudier respectivement la possibilité de construire de nouvelles centrales et de remplacer les plus anciennes ; un bilan de la politique énergétique, diligenté par le gouvernement de la Belgique, qui recommande de reconsidérer la politique nationale visant à sortir du nucléaire, ainsi que la décision prise par le gouvernement des Pays-Bas d'établir dans quelles conditions il sera possible de construire de nouvelles centrales nucléaires. Par ailleurs, en 2006 plusieurs pays de l'OCDE ont annoncé leur intention d'augmenter leur puissance nucléaire installée :

- Au Canada, le gouvernement de l'Ontario a confirmé le rôle important qu'il entendait faire jouer à l'énergie nucléaire pour faire face à la menace de pénurie d'énergie. Deux nouveaux réacteurs devaient être construits, et des études de faisabilité doivent être lancées concernant la remise à niveau des centrales nucléaires de Darlington et de Pickering. Les sociétés *Ontario Power Generation* et *Bruce Power* ont toutes deux présenté à la Commission canadienne de sûreté nucléaire des demandes d'autorisation pour aménager des sites où construire des réacteurs.
- En France, la direction d'Électricité de France, la compagnie d'électricité majoritairement publique, a approuvé la construction d'un réacteur à eau pressurisée européen (EPR) de 1 630 MWe, près de Flamanville (Basse-Normandie).

Principales données sur l'énergie nucléaire en 2006

(fin 31 décembre 2006)

	Réacteurs en service	Puissance installée (GWe nets)	Besoins en uranium en 2006 (tonnes U)	Pourcentage d'électricité nucléaire en 2006
Allemagne	17	20,3	3 400	27,0
Belgique	7	5,8	880	54,4
Canada*	20	12,5	1 600	15,6
Espagne	8	7,3	1 726	19,8
États-Unis	104	99,9	22 890	19,4
Finlande	4	2,7	467	28,4
France	59	63,3	7 184	78,1
Hongrie	4	1,8	379	38,3
Japon	55	47,1	8 352	34,2
Mexique	2	1,4	200	4,7
Pays-Bas**	1	0,5	65	3,7
Rép. de Corée	20	16,8	3 600	39,0
Rép. slovaque	5	2,0	491	57,6
Rép. tchèque	6	3,5	664	31,5
Royaume-Uni	19	10,9	2 165	18,9
Suède**	10	8,9	1 600	44,9
Suisse**	5	3,2	270	37,9
Total (OCDE)	346	307,9	55 933	23,1

* Estimations. ** Données de 2005.

- Au Japon, la deuxième tranche de la centrale de Shika (réacteur à eau bouillante avancé de 1 300 MWe) a été mise en service commercial, et la construction d'une troisième tranche se poursuit à la centrale de Tomari. La construction de tranches supplémentaires est prévue.
- En République de Corée, la construction des réacteurs de la centrale nucléaire de Shin Kori a commencé en juin, tandis que le site de Shin Wolsong est en cours d'aménagement. *Korea Hydro and Nuclear Power* a passé une commande de 1,2 milliard d'USD à *Doosan Heavy Industries* pour les deux premiers réacteurs à eau pressurisée (REP) de troisième génération de type APR 1400 (tranches 3 et 4 de Shin Kori).
- Aux États-Unis, la *Nuclear Regulatory Commission* (NRC) a entrepris d'instruire quatre demandes d'autorisations préalables de sites en vue de la construction de réacteurs et a renouvelé pour 20 ans les permis d'exploitation de cinq centrales nucléaires, portant ainsi à 47 le nombre total de renouvellements des autorisations dans ce pays. En 2006, elle a également approuvé six demandes d'augmentation de puissance correspondant à une puissance installée totale de 1 057 MWe.

Dans les pays non-membres de l'OCDE, trois tranches ont été mises en service en 2006, et la construction de trois autres est amorcée. D'importants projets visant à développer la capacité de production électronucléaire en Chine, en Inde et dans la Fédération de Russie ont commencé à se matérialiser et plusieurs autres pays, tels l'Afrique du Sud, l'Argentine, la Bulgarie, l'Égypte, l'Indonésie, la Roumanie et le Vietnam étudient la possibilité d'augmenter leur puissance installée ou de se tourner vers l'énergie nucléaire.

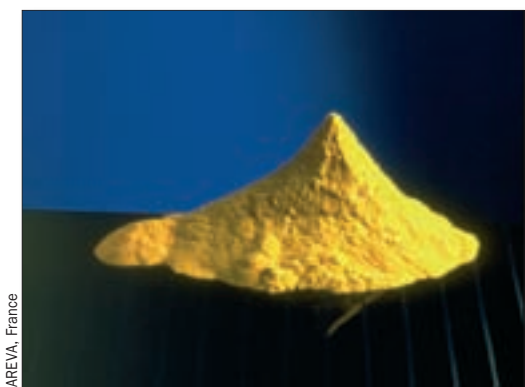
Au niveau mondial, les gouvernements des États-Unis et de la Fédération de Russie ont annoncé en 2006 le lancement de leurs programmes internationaux respectifs de gestion du cycle du combustible nucléaire : le *Global Nuclear Energy Partnership*, pour les États-Unis, et la

Global Nuclear Infrastructure Initiative pour la Russie. Bien qu'ils ne soient encore qu'aux premiers stades de leur développement et que le détail de leur contenu varie, les deux programmes concernent des éléments de la sécurité d'approvisionnement et intègrent la reprise et le retraitement possibles du combustible nucléaire usé. Les gouvernements de la Fédération de Russie, de la France et du Japon ont aussi accordé la priorité au développement des réacteurs rapides en 2006. La réussite du déploiement de ces réacteurs dans les années à venir pourrait marquer profondément l'évolution de l'énergie nucléaire et des activités du cycle du combustible dans le monde.

Production, conversion et enrichissement de l'uranium

Des indications préliminaires montrent que, en 2005, seuls cinq pays de l'OCDE produisaient de l'uranium, dont l'un uniquement en petites quantités dans le cadre de la remise en état de mines. Toutefois, le Canada et l'Australie représentent un peu plus de la moitié de la production mondiale, avec respectivement 28 et 23 %. Cette année-là, la production des pays de l'OCDE s'est élevée à environ 22 000 tonnes d'uranium (tU), mais devrait diminuer quelque peu en 2006. Cette production n'a permis de satisfaire qu'à peu près 40 % des besoins en uranium de la zone de l'OCDE, et l'on a dû recourir à des sources secondaires, notamment aux stocks commerciaux excédentaires, pour le reste. Le lecteur trouvera un panorama complet du marché de l'uranium dans l'ouvrage intitulé *Uranium 2005 : Ressources, production et demande*.

Depuis la fin de 2001, le prix de l'uranium ne cesse de croître et le prix spot a presque doublé pendant la seule année 2006. Cette hausse, qui clôt une période de près de 20 ans de prix bas et stables, a provoqué une relance importante des activités de prospection et le lancement



AREVA, France

Ci-dessus : « Yellow cake » d'uranium.
Ci-contre : Vue aérienne de l'usine JEB et de l'installation de gestion des résidus JEB, McClean Lake, Canada.



Cogéma, Canada

de programmes de production d'envergure. Bien que les chiffres provisoires indiquent une production légèrement en baisse en 2006 par rapport à 2005, les investissements plus nourris devraient permettre de satisfaire la demande croissante dans les années qui viennent à mesure que les sources secondaires s'épuiseront et qu'il faudra compter de plus en plus sur la production primaire pour répondre aux besoins des réacteurs. Cependant, il se peut que la production primaire n'augmente pas avant plusieurs années, vu les délais nécessaires dans de nombreux pays pour aménager des mines d'uranium.

En 2006, des usines de conversion d'uranium ont continué de fonctionner au Canada, aux États-Unis, en France et au Royaume-Uni. En France, les travaux sont en cours pour élaborer la conception détaillée d'une usine de conversion de grande capacité qui pourrait commencer à produire dès 2010.

En ce qui concerne l'enrichissement de l'uranium, la technologie de centrifugation s'est encore confirmée comme la technologie de choix en 2006. Aux États-Unis, la *Louisiana Energy Services National Enrichment Facility* (NEF) a obtenu de la NRC l'autorisation de construire et d'exploiter une installation au Nouveau-Mexique et la société *US Enrichment Corporation* a poursuivi ses travaux pour développer le procédé américain de centrifugation. En France, AREVA s'est attelée à la mise au point de l'usine Georges Besse II qui disposera d'une importante capacité d'enrichissement par centrifugation à compter de 2009. Les deux installations, NEF et Georges Besse II, exploiteront la technique d'enrichissement d'URENCO.

Sûreté et réglementation nucléaires

Dans l'ensemble, la sûreté des centrales nucléaires dans les pays de l'OCDE reste excellente, comme en témoignent plusieurs indicateurs publiés. La situation actuelle en sûreté repose sur la maturité de l'industrie, la robustesse du système de réglementation et la solidité de la recherche. Tous s'accordent, en effet, à reconnaître que les recherches en sûreté peuvent améliorer l'efficacité et l'efficacéité de la réglementation parce qu'elles permettent d'identifier les points les plus importants pour la sûreté et de prévoir les futurs défis en matière de réglementation, afin de mieux concentrer les ressources sur les problèmes prioritaires.

Les récentes évolutions des politiques énergétiques révèlent désormais l'importance du défi à court terme que constitue la délivrance d'autorisations pour de nouvelles techniques et filières. Les pays de l'OCDE soutiennent plusieurs initiatives destinées à améliorer l'efficacité lorsqu'il s'agit d'examiner la conception de nouvelles centrales nucléaires. Ces initiatives ont pour objectif de renforcer la sûreté nucléaire dans le monde entier en rapprochant les pratiques de sûreté et en fédérant les compétences des organismes de réglementation qui y participent. Le but est donc non seulement de dégager un consensus sur les questions de sûreté auquel puissent ensuite se référer les organismes de réglementation nationaux dans leurs décisions, mais aussi d'accélérer et d'améliorer l'examen de sûreté des nouvelles filières et techniques.

Entre-temps, le nombre de centrales nucléaires qui parviennent à la fin de leur durée de vie prévue augmente, et de nombreux pays ont choisi d'en renouveler les autorisations. Les pays de l'OCDE ont mis en place des systèmes de gestion du vieillissement qui reposent sur des techniques les plus modernes, et les organismes de réglementation

jugent important de procéder à une évaluation des méthodes de gestion suivies par les exploitants en s'appuyant sur des données techniques fiables. Ces pays ont pris l'initiative de constituer des bases de données et de connaissances sur les mécanismes de vieillissement les plus importants, afin de perfectionner toujours davantage les pratiques de gestion du vieillissement.

D'autres aspects de sûreté font aussi l'objet d'une surveillance minutieuse. En 2006, quelques événements rares, mais significatifs, ont attiré l'attention sur les défaillances des systèmes électriques et de protection. Ces défaillances témoignent de la nécessité de tenir compte en permanence du retour d'expérience et de mettre en œuvre au moment opportun un programme de mesures correctives pertinentes. Les organismes de réglementation et de sûreté nucléaires des pays de l'OCDE consacrent des efforts importants à mettre en évidence et à résoudre les problèmes dans ce domaine.

Radioprotection

De nombreux pays envisagent de construire de nouveaux réacteurs nucléaires et il y a beaucoup à apprendre de l'expérience acquise avec la génération actuelle de centrales nucléaires, notamment des tendances et des bonnes pratiques en vigueur dans le domaine de la protection radiologique des travailleurs et du public. Cette expérience peut ensuite se traduire en divers objectifs de conception relatifs aux radioexpositions professionnelles en cours d'exploitation et de maintenance ou encore aux expositions du public dues à l'exploitation et aux rejets d'effluents. Ces objectifs auront des répercussions non seulement sur la conception matérielle des nouvelles centrales, mais aussi sur les procédés et procédures qui seront employés pour exploiter, entretenir et à terme, démanteler les installations. En tant que tel, évaluer l'expérience et les tendances présentes pour concevoir de nouveaux projets devient aujourd'hui pratique courante autant chez les entreprises d'électricité et les exploitants que chez les décideurs et les organismes de réglementation, ce qui pourrait avoir un impact sur les conceptions et les plans pour les réacteurs des générations III+ et IV.

Une autre tendance actuelle de la radioprotection porte sur la participation de toutes les parties prenantes aux décisions, et marque profondément de son empreinte l'évaluation de l'expérience et la mise au point des objectifs de conception. À mesure que les pouvoirs publics ont pris conscience de la volonté de la société civile de participer activement aux décisions concernant la gestion des risques pour les populations et l'environnement, il a fallu de plus en plus évaluer la façon dont les décisions étaient prises et trouver des mécanismes appropriés pour gérer les risques dans notre société moderne fondée sur l'information. Bien souvent, on a dû modifier les structures et les procédures organisationnelles de façon à permettre une telle participation. La procédure mise en place pour l'élaboration des nouvelles recommandations générales de la Commission internationale de protection radiologique (CIPR) en est un exemple frappant. Jusqu'en 1999, la CIPR élaborait ses recommandations en vase clos et les spécialistes réfléchissaient entre eux aux « meilleures démarches » de radioprotection. En 1999, le processus a été ouvert à une large consultation publique qui, même si elle a prolongé quelque peu la période de gestation des nouvelles recommandations de la Commission (qui



Contrôles radiologiques. Ci-dessus : à McClean Lake, Canada. Ci-contre : à Saclay, France.



devraient être parachevées au début de 2007), permettra d'arriver à des recommandations bien comprises, mieux acceptées et plus faciles à appliquer que par le passé. Ce processus s'est ouvert, semble-t-il, de manière irréversible et pourrait d'ailleurs devenir une référence pour élaborer d'autres normes et règles internationales et nationales.

La participation s'est étendue également au domaine de la planification et de la préparation aux situations d'urgence. Depuis l'accident de Tchernobyl, d'importants efforts ont été consentis aux niveaux national et international pour améliorer les moyens de réagir en cas d'accident. En gros, les travaux ont porté surtout sur la phase d'urgence des accidents, notamment sur des sujets comme les stratégies de communication et de gestion de données les mieux adaptées aux besoins des décideurs. Plus près de nous, en s'appuyant sur 20 années de gestion des effets de l'accident de Tchernobyl, les pouvoirs publics ont commencé à s'intéresser à la planification des dernières phases des situations accidentelles. L'expérience que l'on acquiert aujourd'hui sur toutes les zones contaminées par l'accident de Tchernobyl a révélé qu'il n'est possible de résoudre l'immense complexité de ces situations que par des échanges pluralistes et par des actions faisant intervenir directement les parties prenantes touchées. Ces enseignements commencent à imprégner certains aspects de la planification et de la préparation aux accidents nucléaires et radiologiques, ainsi qu'aux actes de malveillance.

Gestion des déchets radioactifs

En mai 2006, la deuxième conférence d'examen de la Convention commune sur la sûreté de la gestion du combustible usé et sur la sûreté de la gestion des déchets radioactifs, qui s'est tenue à Vienne en Autriche sous l'égide de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA), a permis d'examiner attentivement les programmes de gestion des déchets de 41 pays et de constater que des progrès avaient été accomplis dans tous les secteurs de la gestion des déchets radioactifs, y compris la gestion du combustible usé, des déchets issus du démantèlement et des sources scellées hors d'usage.

Concernant le stockage en formation géologique, le public porte toujours son attention sur le projet de Yucca Mountain (États-Unis) et sur l'installation d'ONKALO (Finlande) qui progressent tous deux, quoique avec un certain retard dans le premier cas. Cependant, d'autres programmes moins avancés ont également progressé de façon considérable.

La France a adopté la Loi de programme relative à la gestion des matières et déchets radioactifs, faisant suite à la loi Bataille de 1991 qui fixait trois axes de recherche (entreposage de longue durée, transmutation et stockage en formation géologique) pour 15 ans. La nouvelle loi prévoit qu'une demande d'autorisation en vue de créer un dépôt de déchets en couche géologique profonde soit déposée d'ici à 2015 et que le dépôt soit mis en service dès 2025. La réversibilité en est un aspect essentiel. La nouvelle



Exemples d'activités de démantèlement menées au Royaume-Uni.



loi établit aussi un plan national officiel de gestion des déchets radioactifs et prescrit qu'une décision soit prise en 2013 à propos des déchets graphités et des déchets radi-fères qui constituent des résidus de faible activité, mais à vie longue.

Le programme belge a franchi une grande étape lorsque le gouvernement du pays a décidé, en juin, de stocker les déchets de faible et moyenne activité à vie courte dans un dépôt en surface, à Dessel. La commune, ainsi que celle de Mol qui était aussi candidate, avaient engagé un processus participatif avec l'Organisme national des déchets radioactifs et des matières fissiles (ONDRAF/NIRAS) et s'étaient portées volontaires pour accueillir l'installation. Les partenariats ainsi constitués se poursuivront pendant toute la conception du dépôt.

Après la publication en juin du rapport final du *Committee on Radioactive Waste Management* (CoRWM) et de ses recommandations concernant la gestion à long terme des déchets à vie longue, le ministre de l'Environnement du Royaume-Uni a tracé, en octobre, la politique du gouvernement dans ce domaine en reprenant amplement les conclusions du CoRWM. Le gouvernement a confirmé que le stockage en formation géologique doit être la solution ultime pour ces déchets et que toute décision relative à la sélection du site d'un dépôt serait prise dans le cadre d'un partenariat ouvert et transparent avec les collectivités susceptibles d'accueillir l'installation. Le transfert de la responsabilité de UK NIREX en qualité de gestionnaire des déchets à la *Nuclear Decommissioning Authority* (NDA) marquera un changement important du dispositif institutionnel actuel. L'organisme qui succédera au CoRWM devra assurer des contrôles minutieux et des conseils indépendants aux pouvoirs publics.

Enfin, d'importantes décisions juridiques viennent renforcer les programmes de gestion des déchets en Allemagne et en Suisse. Dans le contentieux relatif au dépôt de Konrad (Allemagne), le tribunal administratif supérieur de Basse-Saxe a débouté les plaignants, ouvrant ainsi la voie à l'utilisation de la mine de Konrad comme dépôt pour des déchets non exothermiques. En Suisse, le Conseil fédéral a approuvé les conclusions du projet d'*Entsorgungsnachweis*, confirmant qu'il est possible, en principe, de construire un dépôt en formation géologique pour des déchets de haute activité, du combustible usé et des déchets de moyenne activité à vie longue. Cette décision donne le feu vert à la recherche d'un site dès que les critères de sélection seront établis.

D'autre part, le *Waste Isolation Pilot Plant* (WIPP), situé au Nouveau-Mexique (États-Unis), est le seul dépôt en formation géologique qui soit en service dans le monde. Il reçoit depuis cinq ans des déchets radioactifs transuraniens à vie longue. La *United States Environmental Protection Agency* (US EPA) vient de reconduire le certificat de conformité de l'installation dans le cadre d'une revue obligatoire de la sûreté et de la performance à long terme du WIPP, afin de vérifier que le dépôt respecte toujours les critères de sûreté à la lumière des informations les plus précises et les plus récentes dont on puisse disposer. L'EPA a étudié les données relatives aux changements opérationnels et à l'expérience acquise sur la mise en dépôt, les données de caractérisation du site, ainsi que des estimations à jour des stocks de déchets. Sa décision se fonde aussi sur l'évaluation à jour de la performance menée par le ministère de l'Énergie des États-Unis (DOE).

Sciences nucléaires

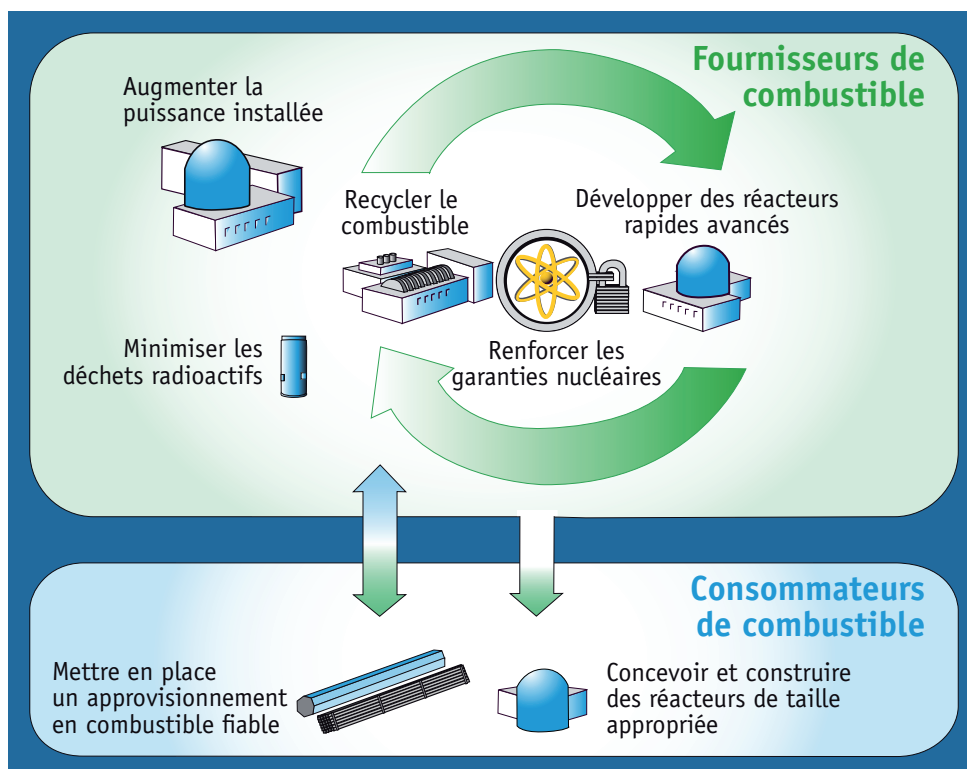
Le choix des matériaux est un aspect capital de la mise au point de filières nucléaires avancées. Cela vaut tant pour les matériaux de structure que pour la préparation de combustibles nucléaires avancés. Les aspects à prendre en compte sont nombreux et variés. Il s'agit notamment de la température, de la résistance sous irradiation et de la résistance à la corrosion, ainsi que des phénomènes d'activation sous rayonnement. Pour compléter les expériences qui sont menées, plusieurs projets scientifiques nationaux et internationaux sont actuellement consacrés à la mise au point de modèles informatiques simulant le comportement des matériaux de structure et du combustible dans différentes conditions. Les modèles informatiques doivent permettre de mettre au point des outils numériques multi-échelles afin de simuler, à partir des principes fondamentaux de physique, les effets de l'irradiation sur les propriétés mécaniques et la corrosion des matériaux.

Des initiatives récentes, comme le partenariat proposé par les États-Unis, intitulé *Global Nuclear Energy Partnership* (GNEP), suscitent un regain d'intérêt et donnent lieu à des études scientifiques dans des domaines liés notamment à l'aval du cycle du combustible et à la mise au point de réacteurs nucléaires modulaires ou de petite taille. Plusieurs scénarios de recyclage du combustible nucléaire sont à l'étude, l'objectif étant de mettre au point un cycle du combustible plus efficace et plus résistant à la prolifération des armes nucléaires. Autre avantage des cycles avancés avec recyclage, ils produisent moins de déchets. Les études portent sur la chimie des procédés de séparation du combustible et les possibilités de transmuter les éléments transuraniens dans des réacteurs rapides ou dans des réacteurs sous-critiques dédiés pilotés par des accélérateurs.

Droit nucléaire

Les pays membres de l'AEN s'efforcent de minimiser les obstacles juridiques à l'utilisation de l'énergie nucléaire dans des conditions sûres et font tout leur possible pour élaborer et harmoniser la législation régissant les utilisations pacifiques. À cette fin, ils continuent de chercher des solutions pour surmonter l'incapacité des exploitants de centrales nucléaires d'obtenir des assurances privées couvrant certains risques de responsabilité civile et de dommages matériels qu'ils sont juridiquement tenus d'assumer ; d'étudier la nécessité de couvrir par des régimes particuliers de responsabilité civile et d'indemnisation les risques associés aux sources radioactives et aux installations de fusion nucléaire ; de s'assurer que l'utilisation ou le transport de petites quantités de substances nucléaires n'est pas soumis à un régime de responsabilité et d'indemnisation trop contraignant ; d'évaluer les répercussions des conventions internationales non nucléaires sur les activités nucléaires ; de faciliter l'établissement et la mise en œuvre de programmes d'assistance en sûreté nucléaire avec les pays non-membres et d'aider certains de ces pays à se doter d'une législation nucléaire reposant sur des principes reconnus à l'échelle internationale.

De plus, ils font en sorte que les personnes ayant subi des dommages matériels ou corporels à la suite d'un accident nucléaire bénéficient d'une indemnisation suffisante et équitable. Les membres de l'AEN qui ont adopté en 2004 les Protocoles portant modification de la Convention de Paris et de la Convention complémentaire de Bruxelles continuent de travailler activement à leur ratification et à leur transcription en droit national. D'autres pays membres sont sur le point de ratifier la Convention de 1997 sur la réparation complémentaire des dommages nucléaires, tandis que d'autres encore étudient l'intérêt d'adhérer au Protocole d'amendement de 1997 de la Convention de Vienne ou envisagent de modifier leur législation nationale afin d'y intégrer les dispositions de ces instruments.



Le *Global Nuclear Energy Partnership* se consacre principalement à la relance de l'énergie nucléaire et à la mise en place de partenariats entre les fournisseurs et les consommateurs de combustible nucléaire.