

L'énergie nucléaire en 2005

Développement de l'énergie nucléaire

Au 31 décembre 2005, les pays membres de l'OCDE comptaient 351 réacteurs exploités, soit environ 83 % de la capacité de production électronucléaire mondiale et environ 23,4 % de la production totale d'électricité dans la zone de l'OCDE. En 2005, trois réacteurs ont été mis en service, dont deux au Japon et un en Corée. Au Canada, le réacteur de la tranche 1 de Pickering, à l'arrêt depuis 1997, a été de nouveau raccordé au réseau. Un réacteur allemand et un réacteur suédois ont été mis à l'arrêt définitif dans le cadre de la politique d'abandon progressif de l'énergie nucléaire dans ces pays.

Les pays membres de l'OCDE continuent d'adopter des approches différentes à la production et l'utilisation de l'énergie nucléaire. Plusieurs pays ont officiellement choisi de ne pas avoir recours au nucléaire pour produire leur électricité ou d'abandonner progressivement cette énergie (c'est le cas actuellement de l'Allemagne, de l'Autriche, de la Belgique, de l'Espagne, de l'Italie et de la Suède, mais la position de certains pays pourrait évoluer à la lumière des récents débats). En revanche, des pays tels que le Canada, la Corée, les États-Unis, la Finlande, la France, le Japon et la République slovaque s'emploient activement à augmenter leur future puissance installée, ou d'autres songent à ajouter l'énergie nucléaire à leurs sources d'approvisionnement énergétique. Enfin, un certain nombre d'autres pays de l'OCDE continuent de faire appel à l'énergie nucléaire, mais n'ont annoncé aucun projet de développement ou de construction. Toutefois, on observe dans l'ensemble une tendance croissante au développement de la puissance nucléaire installée. Les principaux événements qui contribuent à cette perception sont les suivants :

- En Finlande, TVO a entamé la construction de la tranche d'Olkiluoto-3, qui est de la filière du réacteur à eau sous pression européen (EPR).
- En France, le gouvernement et EDF, la compagnie d'électricité nationale dont l'État est le principal actionnaire, continuent de préparer la construction d'un EPR près de Flamanville (en Basse-Normandie). Des projets de construction de nouvelles tranches pour remplacer celles du parc actuel qui doivent être fermées ont aussi été annoncés.
- Au Japon, les réacteurs à eau bouillante Higashidori-1 et Shika-2, dont l'un est de type avancé, ont été raccordés au réseau respectivement en mars et juillet 2005. En octobre, le gouvernement a adopté une nouvelle politique-cadre pour l'énergie nucléaire prévoyant, entre autres, de maintenir vers 30 à 40 % la proportion de l'énergie



Vue de la centrale nucléaire d'Higashidori-1, Japon.

nucléaire dans la production nationale d'électricité après 2030, de lancer l'exploitation commerciale de réacteurs surgénérateurs rapides pour 2050 et de mettre en œuvre une politique nationale de recours à un cycle fermé du combustible avec retraitement. À la suite de cette décision, l'Agence pour les ressources naturelles et l'énergie du ministère de l'Économie, du Commerce et de l'Industrie (METI) a commencé à travailler sur le plan de mise en œuvre de cette politique-cadre.

- En Corée, le réacteur Ulchin-6 a été mis en service et raccordé au réseau en janvier 2005. En juin, le ministère des Sciences et de la Technologie a autorisé la construction de Shin Kori-1 et -2. Ces deux nouveaux réacteurs à eau sous pression KSNP+ de 1 000 MW(e) devraient être terminés en 2010 et 2011 respectivement.
- Aux États-Unis, le Congrès a adopté l'*Energy Policy Act*, qui a été signé par le président en août 2005. La loi contient plusieurs mesures incitatives destinées à encourager la construction de nouvelles centrales nucléaires, notamment des crédits d'impôt pour la production d'électricité, des garanties de prêts et une protection contre les risques, dont bénéficieraient les toutes premières sociétés qui construiraient de nouveaux réacteurs. De plus, en décembre 2005, la *Nuclear Regulatory Commission* (NRC) a homologué la conception du réacteur avancé à eau sous pression AP-1000, qui peut désormais faire l'objet d'une demande conjointe de permis de construire et d'autorisation d'exploitation. AREVA a aussi annoncé son intention de faire homologuer la conception du réacteur nucléaire évolutif américain (EPR américain) en vue de le commercialiser aux États-Unis.

Une évolution similaire dans des pays non membres de l'OCDE semble confirmer cette dynamique. Ainsi,

Principales données sur l'énergie nucléaire en 2005 (au 31 décembre 2005)				
Pays	Réacteurs en service	Puissance installée (GWe nets)	Besoins en uranium en 2005 (tonnes d'U)	Pourcentage d'électricité nucléaire
Allemagne*	17	20,3	2 900	30,1**
Belgique	7	5,8	1 367	55,0
Canada	20	12,5	1 800	14,4
Espagne	9	7,5	1 177	19,8
États-Unis	104	99,8	22 875	19,3
Finlande	4	2,7	524	32,9
France*	59	63,4	7 185	78,1**
Hongrie	4	1,8	370	39,4
Japon	54	46,3*	7 819	31,8
Mexique	2	1,4	360	5,2
Pays-Bas	1	0,5	65	3,7
Rép. de Corée*	20	16,8	3 400	38,0**
Rép. slovaque*	6	2,5	450	55,5**
Rép. tchèque	6	3,5	756	30,6
Royaume-Uni	23	11,8	2 300	20,6
Suède*	11	9,4	1 400	50,6**
Suisse*	5	3,2	270	39,4**
Total (OCDE)	352	309,2	55 018	23,4

* Estimations. ** Données de 2004.

trois nouvelles tranches ont été raccordées au réseau en 2005, et la construction de deux autres tranches a débuté officiellement. Certains pays ont approuvé des projets d'expansion et d'autres envisagent d'introduire le nucléaire dans leur parc énergétique.

Parallèlement, l'allongement de la durée de vie des centrales par un renouvellement de leur autorisation d'exploitation pour une vingtaine d'années supplémentaires dans bien des cas, contribue à la puissance totale installée. Des prolongations ont été autorisées ou sont à l'étude dans plusieurs pays de l'OCDE, parmi lesquels les États-Unis, la Hongrie et les Pays-Bas.

Production, conversion et enrichissement de l'uranium

En 2004 (la dernière année pour laquelle des données sont disponibles), seulement sept pays de l'OCDE produisaient de l'uranium, dont trois en petites quantités dans le cadre des travaux de remise en état des mines. Toutefois, le Canada (29 %) et l'Australie (22 %) assuraient la moitié de la production mondiale. Dans les pays de l'OCDE, la production s'élevait à environ 22 000 tonnes d'uranium (t d'U), en 2004, et devrait augmenter très légèrement en 2005. En 2004, la production ne représentait qu'environ 40 % des besoins en uranium de la zone OCDE, le complément provenant de sources secondaires (par exemple, des stocks commerciaux excédentaires).

On a observé au cours des dernières années une progression significative et constante du prix de l'uranium. Ayant régulièrement grimpé depuis la fin de 2001, le prix avait plus que quintuplé à la fin de 2005. Une telle augmentation des prix après près de 20 ans de stagnation a été à l'origine d'activités de prospection considérables, ainsi que de l'annonce de nouveaux projets importants de production. Ces initiatives devraient permettre de satisfaire la demande au cours des prochaines années à mesure que les sources secondaires s'amenuiseront et que la production primaire devra prendre le relais pour alimenter les réacteurs.

En 2005, les installations de conversion ont continué de fonctionner au Canada, aux États-Unis, en France et au Royaume-Uni. En mars, Cameco a annoncé un contrat décennal de fourniture de services de conversion sur le site de la BNFL, à Springfield, au Royaume-Uni, prolongeant ainsi la vie de l'usine qui devait fermer en 2006.

La technique de centrifugation a continué de s'imposer pour l'enrichissement de l'uranium à travers le monde. Aux États-Unis, deux projets visent à créer une infrastructure commerciale d'enrichissement par centrifugation. Le premier, financé par la *US Enrichment Corporation* (USEC), fera appel à une technique de centrifugation avancée développée à partir de recherches antérieures du gouvernement américain. Le second, mené à bien sous l'autorité de *Louisiana Energy Services* (LES), s'appuie sur la technique de

centrifugation d'Urenco. L'usine de l'USEC devrait être construite à Piketon (Ohio) et celle de LES dans le comté de Lea (Nouveau-Mexique). Le 15 juin 2005, la NRC a publié son Étude définitive d'impact sur l'environnement et son Rapport d'évaluation de sûreté pour l'installation de LES. La construction des usines de LES et de l'USEC commencera en 2006 et 2007 respectivement.

En Allemagne, le ministère de l'Énergie de Rhénanie-du-Nord-Westphalie a autorisé, en février 2005, l'usine d'enrichissement d'Urenco de Gronau à porter sa production à 4 500 t UTS/a, ce qui représente une augmentation possible de 150 % par rapport à la capacité de production actuelle. L'autorisation délivrée comprend la construction d'une seconde usine d'enrichissement à côté de l'usine existante. La nouvelle usine devrait commencer à produire au cours du second semestre de 2007. En octobre, la Commission européenne a approuvé, à certaines conditions, l'acquisition par AREVA de 50 % de l'*Enrichment Technology Company* (ETC) d'Urenco. Cette acquisition donnera accès à AREVA à la technologie de centrifugation d'ETC et lui permettra de remplacer le jour venu son usine de diffusion gazeuse vieillissante de Georges Besse en France.

Sûreté et réglementation nucléaires

Dans l'ensemble, la sûreté des centrales nucléaires des pays de l'OCDE reste très bonne, comme le montrent les indicateurs de performance publiés. Ces bons résultats en sûreté s'appuient sur une industrie mature, un système réglementaire robuste et une base solide de recherche. Tous s'accordent, en effet, à reconnaître que les recherches en sûreté peuvent contribuer à améliorer l'efficacité et l'efficacité du système réglementaire parce qu'elles permettent de mettre en évidence les aspects les plus importants pour la sûreté, de prévoir les futurs défis auxquels seront confrontées les autorités de sûreté et, partant, de concentrer les ressources sur les problèmes prioritaires.

Quelques événements significatifs sont survenus en 2005, attirant l'attention sur les défaillances

latentes des tuyauteries, des tableaux électriques et de l'isolation des câbles. Ces défaillances font partie des préoccupations des dernières années et démontrent la nécessité de continuer à prendre en compte le retour d'expérience et de mettre en place promptement les mesures correctives appropriées. Les autorités de sûreté et de réglementation nucléaires des pays de l'OCDE persévèrent à mettre en évidence et à résoudre les problèmes dans ces domaines et ont pour objectif d'améliorer sans cesse la sûreté nucléaire dans les pays de l'OCDE et au-delà. Pour ce faire, ils ont mis sur pied plusieurs activités conjointes et projets de recherche multilatéraux.

Radioprotection

Plusieurs aspects de la radioprotection qui étaient en train d'évoluer ont commencé à converger, permettant ainsi de se faire une idée de plus en plus claire des thèmes qui modèleront la politique et la réglementation en matière de radioprotection, ainsi que leur application au cours des 10 à 15 prochaines années. Parmi les plus importants il faut signaler l'élaboration de nouvelles recommandations de la Commission internationale de protection radiologique (CIPR), qui ont servi par le passé de fondement à la plupart des réglementations nationales de radioprotection, ainsi que l'influence croissante de la participation des parties prenantes dans les processus décisionnels relatifs aux questions de radioprotection.

La rédaction de la version définitive des recommandations générales de la CIPR a bien avancé. Ces recommandations devraient être approuvées à la fin de 2006, après consultation du public sur le nouveau texte qui doit encore être diffusé. Il importe aussi de souligner que la CIPR poursuit ses recherches sur la protection radiologique de l'environnement. Ces deux activités auront une influence majeure sur la mise à jour d'un autre document important, les Normes fondamentales internationales de sûreté (BSS). Les travaux de préparation de ces normes, ainsi que l'élaboration parallèle de la nouvelle Directive de la Commission européenne relative aux BSS, ont débuté en 2005 et devraient durer plusieurs années.

Les principales questions actuelles en matière de protection radiologique – gestion des accidents et réhabilitation, sélection de nouveaux sites, démantèlement et libération des sites ainsi que rejets en exploitation – sont fortement influencées par la question de la participation des parties prenantes. En conséquence, les politiques et les dispositifs réglementaires, de même que les structures organisationnelles et les processus décisionnels sont en train d'être réexaminés et, dans certains cas, modifiés afin de pouvoir associer de façon appropriée et transparente les parties prenantes et tenir compte des différents points de vue et inquiétudes exprimés. En général, la radioprotection s'oriente de plus en plus vers des approches



A. Gomin, CEA, France

Les conditions radiologiques sont contrôlées systématiquement à l'intérieur et aux alentours des centrales nucléaires. Tout rejet est strictement réglementé.

globales de la gouvernance des risques, une tendance qui devrait s'affirmer. Les implications de cette évolution pour les radioprotectionnistes continueront d'être examinées, en particulier en ce qui concerne l'enseignement et la formation, ainsi que les processus et démarches d'identification des problèmes et d'élaboration et de mise en œuvre des solutions.

Gestion des déchets radioactifs

En 2005, le Canada et la France, deux gros producteurs d'électricité nucléaire, ont préparé d'importantes décisions pour la gestion future de leur combustible nucléaire usé et de leurs déchets radioactifs. Au Canada, la Société de gestion des déchets nucléaires (SGDN), créée en application de la Loi de novembre 2002 sur les déchets de combustible nucléaire afin d'inscrire cette gestion dans le long terme, a présenté son rapport définitif. Se fondant sur des travaux approfondis menés pendant trois ans et impliquant des spécialistes, des parties prenantes et des citoyens, la SGDN a recommandé d'adopter un système de gestion du combustible irradié adaptatif et graduel. Le concept présenté prévoit d'isoler et de confiner le combustible usé canadien dans des formations géologiques profondes et appropriées après une étape intermédiaire d'entreposage temporaire en sub-surface, en se ménageant la possibilité de le récupérer au besoin. La construction définitive d'un dépôt en profondeur n'aura probablement pas lieu avant une cinquantaine d'années afin de permettre la mise en œuvre adaptative et par étapes du projet. Une décision est maintenant attendue de la part du gouvernement canadien quant à la suite du projet.

En France, l'échéance fixée par la Loi Bataille de 1991 qui prévoyait trois axes de recherche pour la gestion du combustible usé et des déchets radioactifs (séparation et transmutation, stockage dans des formations géologiques profondes et entreposage à long terme) approche. Le gouvernement a donc lancé une vaste consultation publique afin d'alimenter le débat parlementaire qui aura lieu en 2006 et les processus décisionnels qui en découleront. Dans son rapport, l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (OPECST) a souligné que ces démarches se complètent et proposent que les recherches se poursuivent sur le stockage des déchets à vie longue dans des formations géologiques profondes et sur l'entreposage intermédiaire à long terme du combustible usé qui pourrait éventuellement être transmuté. Cette approche repose sur la mise en service d'un dépôt géologique entre 2020 et 2025 et l'exploitation industrielle de la transmutation d'ici 2040.

Tandis que les décisions que le gouvernement du Canada et l'Assemblée nationale de France doivent prendre en 2006 seront étroitement suivies par la communauté internationale, les deux projets de dépôts géologiques les plus avancés – Yucca Mountain

(États-Unis) et Olkiluoto (Finlande) – continuent de progresser. Une norme importante publiée par l'*US Environmental Protection Agency* (EPA) concernant l'évaluation de sûreté du dépôt de Yucca Mountain est en cours de révision afin d'y intégrer des échelles de temps allant de 10 000 à 1 million d'années, pour lesquelles une limite de dose basée sur le fond naturel de rayonnement est proposée. Au chantier d'Olkiluoto en Finlande, la construction du laboratoire de caractérisation d'ONKALO se poursuit, préalablement à l'implantation du dépôt géologique prévu sur le même site.

En Hongrie et en Corée, les nouvelles de la progression des travaux de sélection des sites adaptés à l'aménagement de dépôts de déchets de faible et de moyenne activités sont encourageantes. À Bataapáti, qui se trouve à quelque 60 km au sud de la centrale nucléaire hongroise de Paks, la municipalité a organisé un référendum pour savoir s'il fallait autoriser la création d'un dépôt de stockage définitif sur son territoire. Une nette majorité des citoyens s'est prononcée en faveur du projet, facilitant ainsi l'adoption par le parlement de la décision de lancement des travaux. À une

Le site du dépôt de stockage définitif de Bataapáti en Hongrie.



Attila Nagy, Index.hu, Hongrie



Paysages de Gyeongju, province de Gyeongsang Nord, Corée.

échelle beaucoup plus grande, la population de la ville coréenne de Gyeongju (province de Gyeongsang Nord) a voté pour l'aménagement d'un dépôt de déchets de faible et de moyenne activités, la première installation de ce type à être construite dans le pays. Quatre collectivités candidates avaient été choisies et chacune d'entre elles avaient organisé un référendum pour savoir si les habitants acceptaient une telle installation. Bien que plus des deux-tiers des citoyens de chacune de ces villes se soient prononcés en faveur du projet, c'est Gyeongju, où les suffrages favorables ont été les plus nombreux, qui a été retenu par le gouvernement. Celui-ci espère que l'installation sera achevée en 2008-2009.

Sciences nucléaires

Les inquiétudes au sujet de la disponibilité des ressources énergétiques, du changement climatique, de la qualité de l'air et de la sécurité énergétique ont suscité un intérêt accru pour l'énergie nucléaire et particulièrement pour les filières plus avancées qui sont plus performantes sur le plan économique, mais aussi du point de vue de la sûreté et de la non-prolifération, et produisent moins de déchets nucléaires que les réacteurs actuels. Le Forum international Génération IV (GIF) poursuit ses recherches sur six filières avancées qui présentent toutes de telles caractéristiques. La mise au point de ces filières nécessite également de plus amples recherches dans un grand éventail de domaines scientifiques, comme la validation des conceptions du cœur et le développement de nouveaux combustibles et matériaux pour des applications à haute température. Les pays de l'OCDE y travaillent activement.

Le regain d'intérêt de certains pays membres pour le maintien du nucléaire dans leur parc énergétique, associé au vieillissement des spécialistes et au faible intérêt des étudiants pour les sujets nucléaires ces dernières années, a fait prendre conscience de la nécessité de mieux préserver les savoirs acquis en sciences et techniques nucléaires. C'est pourquoi plusieurs initiatives ont été lancées à l'échelle nationale et internationale, telles que le maintien d'informations techniques

dans des bases de données et le développement de stratégies de transfert de connaissances, pour sauvegarder et partager les connaissances actuelles et en faciliter la transmission aux générations futures.

Données nucléaires et logiciels

On reconnaît généralement que des codes de calcul et des données nucléaires dûment validés sont essentiels pour apprécier la qualité des résultats des exercices de modélisation des filières nucléaires actuelles et avancées. L'augmentation spectaculaire de la puissance de calcul a une influence profonde sur les calculs prévisionnels des différents paramètres des réacteurs et du cycle du combustible. L'utilisation accrue des méthodes de Monte Carlo pour calculer des modèles tridimensionnels complets donnent des résultats plus précis en éliminant les approximations inhérentes aux anciennes méthodes de calcul.

Puisqu'il faut disposer non seulement de techniques et de modèles de calcul plus avancés, mais aussi de davantage d'informations sur la précision des données nucléaires correspondantes, les principales bibliothèques de données nucléaires s'efforcent aujourd'hui d'incorporer les informations concernant le niveau d'incertitude sous forme de matrices de covariance. Ces informations, de même que les analyses de sensibilité appropriées et les codes avancés de modélisation, sont autant d'outils qui permettent aux physiciens nucléaires de mieux évaluer l'intervalle de confiance des paramètres calculés, ouvrant ainsi des perspectives d'amélioration des marges de sûreté des réacteurs et du fonctionnement économique des centrales nucléaires actuelles.

Droit nucléaire

Les pays de l'OCDE continuent de manifester un grand intérêt pour assurer une indemnisation suffisante des dommages physiques et matériels subis à la suite d'un accident nucléaire survenant dans une installation nucléaire ou pendant le transport de substances radioactives. Les pays membres qui ont adopté, en 2004,

Forum international Génération IV (GIF)

Le **Forum international Génération IV (GIF)** est une initiative internationale majeure dont l'objectif est de développer la prochaine génération de systèmes nucléaires. Il a été lancé par le ministère de l'Énergie des États-Unis au mois de janvier 2000 et a été constitué officiellement en 2001.

La « feuille de route technologique » publiée par le GIF en 2002 avait permis de dégager de l'analyse de plus d'une centaine de concepts les six systèmes technologiques les plus prometteurs, mais aussi de définir les études et recherches à entreprendre pour que ces systèmes puissent être exploités à échelle industrielle d'ici 2030. Les six systèmes retenus sont les suivants :

- **Système à réacteur rapide refroidi au gaz (GFR).** Le système GFR se caractérise par un spectre rapide, un réacteur refroidi par de l'hélium et un cycle du combustible fermé.
- **Système à réacteur rapide refroidi au plomb (LFR).** Ce système se caractérise par un spectre rapide et un réacteur à caloporteur plomb ou alliage liquide plomb/bismuth ainsi que par un cycle du combustible fermé.
- **Système à réacteur à sels fondus (MSR).** Ce système utilise un mélange de sels fondus circulant dans un réacteur à spectre épithermique, avec recyclage intégral des actinides.
- **Système à réacteur rapide refroidi au sodium (SFR).** Le système SFR possède un spectre rapide, un réacteur à caloporteur sodium et un cycle du combustible fermé.
- **Système à réacteur refroidi à l'eau supercritique (SCWR).** Ce système comporte un réacteur refroidi par de l'eau à haute pression et haute température qui fonctionne au-delà du point critique de l'eau.
- **Système à réacteur à très haute température (VHTR).** Le système VHTR comprend un réacteur dont le modérateur est du graphite et le caloporteur de l'hélium, intégré à un cycle à l'uranium ouvert.

Ces systèmes présentent d'importantes améliorations du point de vue de la durabilité, de la sûreté et de la fiabilité, de l'économie, de la non-prolifération et de la protection physique.

Le 28 février 2005, le GIF a franchi une étape importante avec la signature par cinq de ses membres (le Canada, les États-Unis, la France, le Japon et le Royaume-Uni) d'un Accord-cadre pour la phase de R-D. Avant la fin de 2005, la Corée et la Suède ont également signé l'accord.

Pour chacun des six systèmes retenus, un comité de pilotage a été établi afin de gérer la collaboration de R-D. L'AEN assure le Secrétariat technique du GIF.



les Protocoles d'amendement de la Convention de Paris et de la Convention complémentaire de Bruxelles, s'emploient actuellement à intégrer dans leur législation nationale les dispositions de ces protocoles qui prévoient d'augmenter sensiblement le montant d'indemnisation à verser aux victimes, d'élargir considérablement le champ des dommages indemnifiables et d'étendre désormais le droit à indemnisation à un plus grand nombre de victimes. Ils s'emploient aussi à finaliser les deux Exposés des motifs de ces conventions. Certains pays membres de l'OCDE examinent aussi les avantages qu'ils auraient à adhérer au Protocole de 1997 d'amendement de la Convention de Vienne, tandis que d'autres songent à modifier leur législation nationale afin de tenir compte des principes qui ont été introduits dans ces divers protocoles d'amendement. Tous les pays membres de l'OCDE continuent d'évaluer les avantages apportés par l'adhésion à la Convention de 1997 sur la réparation complémentaire des dommages nucléaires.

Les pays membres s'efforcent d'éliminer ou d'atténuer les obstacles juridiques à l'exploitation de

l'énergie nucléaire dans des conditions sûres et, dans toute la mesure du possible, d'harmoniser leurs législations régissant les utilisations pacifiques de l'énergie nucléaire. Dans cette optique, ils continuent de chercher des solutions aux problèmes liés à l'incapacité des exploitants nucléaires de bien s'assurer en responsabilité civile et pour les risques de dommages matériels découlant d'accidents nucléaires provoqués par des actes de terrorisme ; de déterminer si les installations de fusion nucléaire devraient être couvertes par des régimes spéciaux de responsabilité nucléaire ; de trouver des moyens d'éviter les contradictions possibles entre les conventions internationales de responsabilité nucléaire et la législation de la Communauté européenne ; d'apprécier l'impact des diverses conventions internationales sur les activités nucléaires ; et de contribuer au développement et à la mise en œuvre des programmes d'assistance en matière de sûreté nucléaire à l'intention des pays non membres. En outre, ils apportent activement leur soutien aux programmes d'enseignement du droit nucléaire et de diffusion de l'information.