

Sûreté du cycle du combustible nucléaire

B. Kaufer, D. Ross *

Le cycle du combustible nucléaire commence avec l'extraction minière, se poursuit par une série d'étapes comprenant le traitement, la conversion et l'enrichissement, la fabrication du combustible, sa combustion en réacteur, son retraitement (dans certains pays membres) et son transport, pour se terminer par l'entreposage et le stockage du combustible usé et des déchets radioactifs. Le transport intervient entre ces différentes étapes du cycle qui possède chacune, du point de vue de la sûreté, sa spécificité.

Le Sous-groupe sur la sûreté du combustible (FCS) du Comité de l'AEN sur la sûreté des installations nucléaires a été créé en 1976 afin d'approfondir les aspects pertinents de la sûreté du cycle du combustible nucléaire dans les pays membres. Ce sous-groupe constitue un lieu d'échanges d'informations et d'expérience sur tout ce qui concerne la sûreté du cycle. Il a mis au point un système de collecte et de diffusion du retour d'expérience sur les diverses étapes du cycle du combustible et se réunit régulièrement pour étudier les événements ainsi recueillis et analyser dans le détail les plus significatifs.

L'idée d'un document unique consacré à la sûreté de toutes les étapes du cycle du combustible s'est concrétisée voilà près de 25 ans avec la publication par l'AEN de la première édition de l'ouvrage intitulé *La sûreté du cycle du combustible nucléaire*. En 1993, le FCS a réexaminé la question et établi une nouvelle édition de cet ouvrage. Il a réuni ces dernières années les matériaux nécessaires à la réalisation d'un nouvel examen et à la rédaction d'une mise à jour qui doit être publiée en 2005.

Le cycle du combustible nucléaire

Par « cycle du combustible nucléaire » on désigne une série d'activités qui, comme leur nom l'indique, forment ensemble un cycle. Dans son rapport, le Sous-groupe sur la sûreté du cycle du combustible a délibérément omis deux activités du cycle. L'exploitation des réacteurs, qui relève en fait de la sûreté du cycle du combustible, figure dans d'autres parties du programme de travail de l'AEN, de même que la sûreté du stockage des déchets de haute activité. Par ailleurs, on distingue les cycles du

combustible selon qu'ils sont ouverts, ce qui signifie que le combustible sorti du réacteur est envoyé dans un dépôt de stockage définitif, ou fermés, auquel cas le combustible irradié est retraité et les isotopes fissiles réutilisés. Les rapports sur la sûreté du cycle du combustible traitent de ces deux types de cycles.

La mise à jour de 2005 de *La sûreté du cycle du combustible nucléaire* s'intéresse tant aux aspects techniques qu'à la sûreté des diverses étapes du cycle du combustible. On y trouve également résumés les incidents d'exploitation les plus significatifs survenus aux cours des 50 dernières années ainsi que les enseignements qui en ont été tirés.

La sûreté du cycle du combustible nucléaire ces dix dernières années

Depuis la dernière mise à jour de *La sûreté du cycle du combustible nucléaire* en 1993 la situation est restée, dans l'ensemble, assez stable. Si le nombre de réacteurs dans la zone de l'OCDE s'est accru de plus de 10 % (passant de 321 à 360), certains pays membres, par contre, ont décidé de cesser de construire des installations nucléaires. La détermination de l'ensemble de la planète à réduire sa consommation de combustibles fossiles pour

* M. Barry Kaufer (barry.kaufer@oecd.org) travaille dans la Division de la sûreté nucléaire de l'AEN. M. Denny Ross (dfross@erols.com) est consultant auprès de l'AEN.

abaisser les émissions de gaz à effet de serre et d'autres sous-produits de la combustion pourrait conditionner l'avenir du nucléaire dans les pays de l'OCDE. Assurément, le nucléaire pourrait jouer un rôle primordial car il permet de produire de l'électricité sans rejeter de dioxyde de carbone ni certains autres éléments ou composés indésirables. Les évolutions qui ont marqué, ces dix dernières années, les diverses étapes du cycle du combustible peuvent se résumer de la manière suivante :

- Les centrales nucléaires ont fonctionné sans problème de sûreté majeur.
- Chaque année on a extrait, purifié, converti, enrichi (le cas échéant) près de 60 000 tonnes d'uranium qui ont été transformées en assemblages combustibles et chargés dans des réacteurs.
- En sortie du réacteur, ce combustible a été entreposé (sous eau ou à sec) ou transporté dans des usines de retraitement. Parfois, la durée de ces opérations a été particulièrement longue, les transports par bateau du Japon en Europe, par exemple.
- La plupart de ces opérations du cycle du combustible se sont déroulées sans incident. Deux incidents majeurs d'exploitation sont néanmoins à noter, un feu de bitume survenu dans une installation pilote de la *Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation* (PNC) au Japon et une excursion de criticité dans l'usine de la *Japan Nuclear Fuel Conversion Company* (JCO) qui a entraîné des morts dans l'équipe de travail.
- Ces dix dernières années, les efforts en vue d'abaisser encore les doses d'exposition des travailleurs, et les rejets de radioactivité dans l'atmosphère et dans l'eau se sont poursuivis.

- L'étude des facteurs humains et son corollaire, la culture de sûreté, ont également pris de l'ampleur et acquis davantage de maturité ces dix dernières années. Étant donné l'importance des facteurs humains pour la sûreté du cycle, ces aspects sont désormais au centre de l'attention des autorités de réglementation et des propriétaires d'installation.

Évolution du cycle du combustible nucléaire

Depuis l'édition de 1993 du rapport sur la sûreté du cycle du combustible, plusieurs événements techniques et géopolitiques ont fait évoluer la technologie du cycle du combustible.

Extraction et traitement : Il existe plusieurs méthodes d'extraction de l'uranium. L'une d'entre elles, la lixiviation *in situ* (ISL), a reçu davantage d'attention parce qu'elle ne laisse pas d'importants dépôts de résidus après la fermeture de la mine. Il n'est pourtant pas toujours possible de recourir à cette méthode qui exige des minéralisations adaptées de sorte que les modes d'extraction traditionnels à ciel ouvert et souterrain restent prédominants. Dans certains pays, notamment aux États-Unis et en Europe, mais aussi en Afrique, on a pour ainsi dire cessé d'extraire le minerai d'uranium. Cela est dû à plusieurs facteurs : la faible teneur du minerai dans ces pays, la demande relativement éteinte, la faiblesse du prix de l'uranium pendant vingt ans, jusqu'en 2001, et la disponibilité d'uranium issu du programme russo-américain de démantèlement des armes nucléaires.

Enrichissement : La méthode d'enrichissement autrefois privilégiée était la diffusion gazeuse. Cette méthode permet de produire une grande quantité d'uranium enrichi, mais elle consomme aussi beaucoup d'électricité. La

plupart des usines de diffusion gazeuse sont assez anciennes. Aujourd'hui c'est l'ultracentrifugation qui est considérée comme la technologie privilégiée. Au cours des dix dernières années, d'importants travaux ont été effectués pour mettre au point la technique d'enrichissement par laser. Pourtant, malgré des dépenses s'élevant à plus d'un milliard d'USD, ce concept n'est toujours pas viable.

Fabrication du combustible : La technologie de fabrication du combustible n'a pas beaucoup évolué ces dix dernières années. On utilise toujours comme combustible une céramique d'oxyde, et les alliages de zirconium sont toujours le matériau de gainage privilégié. Les progrès du retraitement ont permis d'utiliser davantage le combustible MOX (uranium et plutonium).

Retraitement : Plusieurs usines de retraitement ont ouvert leurs portes au Royaume-Uni et au Japon. Les usines de La Hague, en France, fonctionnent à leur puissance nominale.

Démantèlement : Le démantèlement, qui fait partie des étapes du cycle du combustible, est en cours dans plusieurs installations. Aucun problème de sûreté significatif n'a été signalé dans ce secteur.

Transports : Les transports sont une étape nécessaire du cycle ; ils assurent d'ailleurs le lien entre ces étapes. Le transport n'a pas connu de changement majeur au cours des dix dernières années. Toutefois, les recherches se poursuivent sur les conséquences d'une collision grave avec un camion ou un train lors du transport de combustible irradié de même que sur le thème, plus récent, d'un éventuel attentat terroriste visant un convoi de combustible.

Rapports d'incidents

Le Sous-groupe sur la sûreté du combustible tient à jour un

système de recueil d'incidents connu sous le nom de Système de notification et d'analyse des incidents relatifs au cycle du combustible (FINAS). Cette base de données contient aujourd'hui plus d'une centaine d'incidents concernant les diverses étapes du cycle du combustible. Le système constitue un moyen de favoriser les échanges d'informations, y compris sur les actions correctives et les enseignements tirés. En 2004, l'AEN et l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) sont convenues d'exploiter en commun la base

de données FINAS. Cette décision se traduira notamment par la mise en place d'un système de consultation des incidents comparable à celui qui existe déjà pour les incidents survenant dans les centrales nucléaires commerciales.

Conclusions

L'analyse des résultats des dix dernières années permet de conclure à une véritable maturation du cycle du combustible. D'importantes améliorations de la technologie et de la sûreté sont intervenues aux diverses étapes du cycle

du combustible. On note aussi des progrès sensibles dans la nature et les modalités du recueil et de la diffusion, à tous les niveaux du cycle, du retour d'expérience. Le système de notification est désormais accessible aux États membres de l'AIEA. Le Sous-groupe sur la sûreté du cycle du combustible continue d'offrir une enceinte où échanger des informations sur la sûreté, et la publication de l'édition 2005 de *La sûreté du cycle du combustible nucléaire* devrait servir la cause de la sûreté nucléaire. ■

Nouvelles brèves

Le Forum international Génération IV aborde une nouvelle phase

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. Le 28 février, le Forum 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 intergouvernemental, le *Framework Agreement for International*

Collaboration on Research and Development of Generation IV Nuclear Energy Systems, qui énonce les mesures à prendre pour encourager la participation au Forum des établissements de recherche et de développement et des industriels et définit les dispositions pratiques indispensables, comme la répartition des droits de propriété industrielle sur les systèmes qui seront développés.

Cet accord a pris effet immédiatement après la cérémonie de signature organisée à l'Ambassade de France à Washington, DC. Le 13 avril 2005, la Suisse

a annoncé son intention d'adhérer à l'accord, et d'autres membres du Forum devraient la suivre dans les mois qui viennent. Durant cette période transitoire, tous les membres continueront de participer aux activités du Forum. À l'heure actuelle, le Forum réunit la République d'Afrique du Sud, l'Argentine, le Brésil, le Canada, la République de Corée, les États-Unis, Euratom, la France, le Japon, le Royaume-Uni et la Suisse.

Les systèmes nucléaires de quatrième génération doivent présenter d'importantes