

Energie d'origine nucléaire: Nouvelles tendances

par G. Tavernier*

D'importantes différences de conception concernant la phase finale du cycle du combustible nucléaire ont été constatées entre d'une part l'Amérique du Nord et d'autre part l'Europe et le Japon lors de la troisième Conférence nucléaire européenne qui s'est tenue à Bruxelles du 26 au 30 avril de cette année. Un millier de spécialistes de l'industrie nucléaire provenant de 25 pays ont participé à cette conférence consacrée aux nouvelles tendances observées en matière d'énergie d'origine nucléaire, notamment en ce qui concerne le cycle du combustible nucléaire.

Ces différences de conception constatées à propos du cycle du combustible proviennent du fait que l'Amérique du Nord dispose de vastes ressources énergétiques alors que l'Europe occidentale et le Japon en sont pratiquement dépourvus. Ainsi s'explique également la politique différente des Etats-Unis à l'égard du surgénérateur rapide. Néanmoins, les délégués américains à la conférence ont présenté un vaste programme d'expérimentation (avec notamment l'achèvement du réacteur surgénérateur de Clinch River) devant conduire à la mise en service progressive de surgénérateurs rapides entre 2000 et 2010. De même, au Canada, à la suite d'études sur la stratégie à long terme, on est parvenu à la conclusion que les cycles du combustible nucléaire de pointe ne seraient sans doute pas rentables avant 2010. Alors que l'Europe de l'Ouest est déjà en train de construire des installations industrielles pour le traitement et le stockage des déchets, l'Amérique du Nord en est toujours au stade des études préliminaires.

D'après les communications présentées à la conférence, dans les 23 pays ayant des programmes nucléaires civils, l'expérience acquise en matière d'exploitation est généralement positive. Cependant, les statistiques sur les taux de disponibilité et les coûts d'exploitation montrent que des progrès sont encore possibles en ce qui concerne tant la durée des arrêts pour rechargement, entretien et essais que les performances du matériel et des opérateurs. A la suite de l'accident de Three Mile Island, l'Institute of Nuclear Power Operation (INPO) a été créé aux Etats-Unis pour améliorer les normes d'exploitation des centrales nucléaires. Les propriétaires de centrales nucléaires du monde entier auraient tout intérêt à participer aux travaux de l'INPO, ce qui donnerait lieu à des échanges internationaux d'informations sur l'expérience

d'exploitation des centrales nucléaires, y compris les incidents et les accidents.

Pour le cycle du combustible après irradiation il existe deux possibilités: le stockage définitif ou le retraitement, éventuellement après stockage provisoire. Il est prouvé que les deux possibilités sont techniquement réalisables; le choix dépendra donc de leurs mérites comparés sur le plan économique et sur celui de la conservation de l'énergie. Si l'on opte pour le retraitement, la meilleure manière d'utiliser le plutonium récupéré est de l'affecter aux réacteurs surgénérateurs rapides. Etant donné que l'usine de retraitement de La Hague fonctionne déjà d'une manière satisfaisante et qu'il est prévu de mettre en service d'autres usines, on aura vraisemblablement des excédents de plutonium avant la mise en exploitation commerciale des réacteurs rapides; le plutonium devra donc être recyclé dans des réacteurs à eau.

Les réacteurs rapides, qui devraient satisfaire une grande partie de nos besoins futurs en matière d'énergie, sont actuellement expérimentés dans plusieurs pays. Les options de base sont partout les mêmes: refroidissement par sodium, combustible à oxyde et même méthode de retraitement que pour les réacteurs à eau ordinaire. Si le seul critère considéré est celui de la rentabilité, il se pourrait que les surgénérateurs de taille industrielle ne soient pas construits avant l'an 2000. Cependant, d'après les participants à la conférence, les critères économiques ne sont pas les seuls qu'il faille prendre en considération: dans certains pays industrialisés d'Europe, on ne peut pas retarder plus longtemps la mise en exploitation commerciale des surgénérateurs pour les raisons suivantes: indépendance énergétique; risque de pénurie d'uranium à bon marché; délai nécessaire pour la mise en exploitation commerciale, qui est d'environ 25 ans, ce qui correspond à peu près au délai d'épuisement des ressources en uranium. Il convient donc désormais de concentrer les efforts sur l'accroissement de la rentabilité des réacteurs rapides par rapport aux réacteurs thermiques, ce qui suppose un renforcement de la coopération internationale.

Pour la plupart des pays industrialisés, la fission nucléaire est une des solutions de bon sens aux problèmes d'approvisionnement énergétique. Toutefois, l'énergie d'origine nucléaire ne pourra être développée en l'absence d'un consensus plus large de la part de l'opinion publique. La conférence en a conclu à la nécessité de définir des normes cohérentes, sans redondances ni répétitions inutiles et trompeuses, en évitant une cascade sans fin de mesures de sûreté superflues. Comme cela a été le cas jusqu'à présent, la fiabilité des centrales et la sûreté

* M. Tavernier a été Président général de la troisième Conférence nucléaire européenne, cinquième d'une série de conférences organisées conjointement par l'American Nuclear Society et la Société nucléaire européenne. Il est Directeur général administratif de Belgonucléaire, 25 rue du Champ de Mars, B-1050 Bruxelles (Belgique).

du public seront assurées, sans investissements excessifs, par l'application de normes appropriées. Aux fins de non-prolifération, les activités nucléaires dans le monde doivent rester soumises aux contrôles de l'AIEA: des efforts seront consacrés au renforcement du personnel, à l'amélioration du matériel d'inspection et à l'accroissement des ressources de l'Agence.

Approvisionnement en combustible et production de combustible

Les stocks d'uranium naturel et enrichi s'accumulent en raison de la révision en baisse des prévisions de mise en service de nouvelles centrales nucléaires. Cette situation, qui se prolongera bien après 1990, contribuera à entretenir la stagnation des cours sur le marché de l'uranium. Le marché des services d'enrichissement risque d'être confronté à un problème similaire si les producteurs d'électricité s'efforcent de vendre leurs excédents. On peut s'attendre qu'au cours des années 90 on parviendra à la commercialisation de techniques de pointe en matière de séparation isotopique telles que l'excitation par laser et le plasma d'uranium. Dans ces conditions, la technique d'enrichissement par centrifugation actuellement utilisée aux Etats-Unis ne serait qu'une solution temporaire.

Les participants à la conférence ont particulièrement souligné le fait que la fabrication de combustible au plutonium pour les réacteurs à eau ordinaire revêtait un intérêt particulier dans la mesure où, dans les années à venir, il s'avérera nécessaire de stocker de grandes quantités de plutonium, étant donné que dans plusieurs pays d'Europe on procédera au retraitement du combustible irradié. D'après les communications présentées au cours de la conférence, l'expérience acquise, notamment en Belgique et en République fédérale d'Allemagne, montre qu'il est possible de produire industriellement des éléments combustibles au plutonium. Le coût total des sous-assemblages combustibles au plutonium est actuellement à peu près identique à celui des sous-assemblages à l'uranium enrichi; on peut utiliser les poudres à mélanges d'oxydes U-Pu comme matériau de départ. En République fédérale d'Allemagne, on obtient ce type de poudre par calcination d'un produit intermédiaire, le UPuC, obtenu par précipitation carbonée à partir de nitrates d'U-Pu. Ce procédé, déjà utilisé pour la fabrication de combustible à l'uranium enrichi, présente les avantages suivants: le combustible est totalement soluble dans l'acide nitrique utilisé dans l'étape initiale du retraitement et la quantité de poussières produites pendant la fabrication des pastilles est bien moindre. D'autres procédés sont toujours en cours d'expérimentation, tels que la méthode de gélification pour produire des microsphères d'oxyde d'U-Pu, technique présentée par des intervenants suisses et belges. Une expérience considérable a été déjà acquise pour la fabrication d'éléments combustibles pour réacteurs à neutrons rapides.

Gestion du cœur

Les pratiques actuelles dans le domaine de la gestion du combustible visent à prolonger le cycle d'exploitation et à améliorer les systèmes de modification de position des éléments, de manière à accroître le taux de combustion

atteint au moment du déchargement. Ces tendances sont liées à la nécessité de tirer le meilleur parti possible des approvisionnements en uranium et à la volonté de réduire les coûts de production d'électricité. On espère aussi réduire de la sorte la fréquence des opérations de déchargement du combustible pour stockage provisoire de manière à atténuer les difficultés auxquelles on sera confronté au cours de la prochaine décennie en raison de capacités insuffisantes de retraitement.

Ces objectifs devraient, semble-t-il, pouvoir être atteints: l'intégrité des barres de combustible pour réacteurs à eau légère atteint en fait le niveau des 99,9%; par ailleurs, les informations actuellement obtenues montrent qu'il est possible d'accroître les taux de combustion. Outre cette amélioration des performances en matière de combustible, la fiabilité des composants du cœur a été accrue par des perfectionnements apportés aux matériaux des assemblages combustibles et aux barres de commande. C'est un fait établi que dans une centrale nucléaire les assemblages combustibles et les barres de commande sont à l'heure actuelle les éléments qui donnent le moins de problèmes, et qu'il sera possible d'atteindre progressivement des taux de combustion plus élevés (jusqu'à 40 MWj/kg en moyenne).

L'accroissement de la durée du cycle d'exploitation suppose l'utilisation de poisons combustibles, sujet sur lequel on a fait le point des connaissances au cours de la conférence. Le poison combustible actuellement utilisé dans les réacteurs à eau bouillante est le gadolinium sous forme de Gd_2O_3 combiné avec de l'uranium. Pour le moment, dans les centrales commerciales dotées de réacteurs à eau sous pression, on n'utilise ce type de poisons (barres en pyrex) qu'au cours du premier cycle, sans chercher la rentabilisation maximale. De grands efforts sont actuellement consacrés à l'homologation de nouveaux poisons combustibles pour les réacteurs à eau sous pression, notamment gadolinium et B_4C . L'homologation du gadolinium en est à un stade avancé: plusieurs fournisseurs de combustible ont fait part de leur expérience de l'irradiation dans des réacteurs de puissance de barres contenant du gadolinium. De nombreuses données expérimentales ont été obtenues et les méthodes de calcul sont en cours de vérification. L'utilisation de gadolinium dans les nouvelles charges des réacteurs à eau sous pression est prévue dans un proche avenir. La conception des poisons combustibles a aussi été considérablement améliorée grâce à l'utilisation de barres de $B_4C - Al_2O_3$ recouvertes de gaines de zircaloy.

On voit également apparaître d'autres tendances, et notamment l'utilisation de couvertures axiales d'oxyde d'uranium (de 10 à 15 cm d'épaisseur) aux deux extrémités de l'assemblage combustible, afin de diminuer la quantité de travail de séparation et donc de réduire les coûts du cycle du combustible. Des prototypes de sous-assemblages comportant des couvertures axiales sont actuellement en cours d'irradiation dans des centrales nucléaires aux Etats-Unis.

Un certain nombre de communications faites au cours de la conférence étaient consacrées aux performances du combustible des réacteurs surgénérateurs rapides, essentiellement dans les réacteurs français Rapsodie et Phénix: on a procédé dans Rapsodie à l'irradiation de 30 000 aiguilles de combustible avec des taux de combustion

L'usine de retraitement de La Hague (France). Selon certains points de vue exprimés lors de la conférence, s'il est vrai que le plutonium récupéré par retraitement à partir du combustible irradié trouve sa meilleure utilisation dans les réacteurs rapides, on risque néanmoins d'avoir des excédents de plutonium en attendant que les surgénérateurs rapides soient exploitables sur le plan commercial. On pourrait le recycler dans des réacteurs à eau.



atteignant 25%, et dans Phénix l'irradiation a porté sur 100 000 aiguilles de combustible. Près de 6% de ces dernières sont des barres expérimentales et on a atteint un taux maximum de combustion de 12%. Sur la base de ces résultats, la limite supérieure du taux de combustion de Phénix qui était de 5% a été portée à 10% (taux maximum de combustion de la pastille).

Politique en matière de retraitement

Les participants à la conférence ont souligné l'importance du retraitement du combustible irradié non seulement pour mieux utiliser les ressources énergétiques de la planète, mais aussi pour réduire le volume des déchets de haute activité à stocker. Aux Etats-Unis, d'après ce qui a été indiqué lors de la conférence, le Gouvernement Reagan est favorable au retraitement, mais il reste encore à définir exactement le rôle respectif du secteur privé et du Gouvernement fédéral à cet égard. L'usine de Barnwell pour le retraitement du combustible de réacteurs à eau ordinaire devrait être mise en service vers 1987, sous réserve d'un investissement complémentaire de 730 millions de dollars des Etats-Unis pour le traitement des déchets et le laboratoire de traitement final du plutonium. Un programme de recherches portant sur le retraitement du combustible des surgénérateurs est toujours en cours: l'objectif est de construire d'ici à 1990 une installation de retraitement entièrement automatique; les recherches portent plus particulièrement sur la mise au point de techniques d'entretien à distance et sur l'utilisation de réactifs sans sel.

En France, le retraitement du combustible des réacteurs à eau ordinaire en est au stade commercial; quant au retraitement du combustible des réacteurs surgénérateurs, on est en train d'accumuler des données d'expérience sur les procédés industriels, comme l'illustrent les points suivants: plus de 11 tonnes de combustible de réacteurs rapides ont déjà été retraitées aux usines de Marcoule et de La Hague; en ce qui concerne Rapsodie et Phénix, le cycle du combustible est achevé; des études sont en cours pour la construction d'une usine de traite-

ment des combustibles de réacteurs rapides d'une capacité de 130 t/an, qui pourrait retraiter le combustible provenant de six centrales de type Superphénix, sans compter celui de Phénix et du réacteur SNR 300. En République fédérale d'Allemagne, les programmes d'études en matière de retraitement sont consacrés au combustible des réacteurs surgénérateurs, tandis que les programmes industriels ne portent que sur le combustible des réacteurs à eau ordinaire. La première unité pilote de retraitement du combustible de réacteurs surgénérateurs rapides est en exploitation au Centre de recherches nucléaires de Karlsruhe, et l'étude de conception d'une seconde unité ayant une capacité de 50 kg de métal lourd par jour est en cours.

Si le Parlement belge prend la décision de la réouvrir, l'usine d'Eurochemie pourrait être utilisée pour le retraitement de combustible recyclé. Des études portant sur l'adaptation du schéma de fonctionnement et du matériel ont fait apparaître qu'il n'y aurait pas de modifications fondamentales à apporter à l'usine sauf dans les zones où se dérouleraient la partie initiale et, pour le plutonium, la partie terminale du retraitement. La compagnie belge d'électricité a une opinion très nette sur la partie terminale du cycle du combustible: elle estime que le retraitement est indispensable. Ce point de vue a été illustré lors de la conférence par la description de l'installation de recherche *Hermès* prévue pour la mise au point de la partie initiale du retraitement du combustible à oxyde des réacteurs surgénérateurs rapides.

Toutes les techniques de retraitement mentionnées lors de la conférence reposent sur le procédé *Purex* à l'exception d'une nouvelle technique de retraitement du combustible des surgénérateurs décrite dans une communication du CAEM*. Cette technique (fusion des gaines suivie d'une fluoration en phase gazeuse) doit être prochainement essayée au cours d'une campagne de retraitement de combustible irradié provenant du réacteur BOR-60.

* Conseil d'assistance économique mutuelle.

Stockage du combustible irradié

Le stockage provisoire est aujourd'hui un élément essentiel de la gestion du combustible irradié par suite des retards observés en matière de retraitement et de l'absence d'une position bien définie concernant la partie terminale du cycle du combustible. Depuis quelques années, des efforts importants sont faits en vue de l'amélioration des techniques de stockage. Le stockage du combustible irradié en piscine, généralement utilisé dans les centrales et les usines de retraitement, est une technique qui a fait ses preuves; cependant la technique du stockage à sec peut se révéler avantageuse, techniquement et économiquement, par rapport aux systèmes de refroidissement passif, aux conceptions modulaires, etc. Le stockage en piscine est une technique possible qui ne pose pas de problèmes de sûreté pendant au moins plusieurs décennies; une période préliminaire de refroidissement en piscine peut être nécessaire avant un stockage prolongé à sec. Plutôt que d'installer les piscines de stockage sur le site des réacteurs, il est plus économique de prévoir une installation de stockage à l'écart, sauf à partir d'un minimum de six réacteurs sur un même site. C'est ainsi qu'en Suède, on est en train de construire une installation souterraine de stockage provisoire d'une capacité de 3000 tonnes d'uranium, qui pourra être éventuellement portée à 9000 tonnes. En tassant les barres de combustible, on peut parvenir à réduire de 50% tant l'espace nécessaire au stockage que les opérations de manutention dans des châteaux de transport. Lorsqu'il y a un taux de combustion élevé, le stockage du combustible irradié s'en trouve facilité, étant donné la réduction de volume du combustible qui en résulte; de plus, le comportement du combustible pendant son stockage sous l'eau ne devrait pas en être modifié. Quant au stockage définitif du combustible irradié sans retraitement, c'est une solution qui est possible sur le plan technique, mais qui doit encore être éprouvée.

Gestion des déchets

En République fédérale d'Allemagne, le retraitement fait obligatoirement partie de la gestion des déchets. Cependant, le Land de Basse-Saxe a demandé qu'il soit procédé à l'étude de l'autre variante, celle du stockage du combustible irradié. Pour le moment, une grande piscine destinée au stockage du combustible irradié est en construction à Gorleben et trois nouveaux sites de retraitement sont en cours d'évaluation. Des études ont fait apparaître que le sel gemme était l'environnement le plus intéressant pour le stockage définitif des déchets. En Belgique, la gestion des déchets radioactifs vise à en réduire le volume au maximum, à stabiliser les concentrés, à choisir les environnements les mieux adaptés pour y enfouir ces concentrés et à réaliser l'ensemble de ces opérations à un coût raisonnable. On s'intéresse tout particulièrement au conditionnement chimique et physique des déchets radioactifs. On utilise actuellement deux procédés, l'un consistant à enrober les déchets de bitume et l'autre à concentrer et à immobiliser les effluents.

Au Royaume-Uni, on considère le retraitement comme un élément essentiel d'une stratégie globale de gestion des déchets et on poursuit les études sur l'installation THORP. En attendant, une vaste piscine de stockage a été construite à Windscale. Pour les déchets de faible activité, on estime que l'immersion en mer est une bonne solution. Les déchets de moyenne activité sont stockés dans des tranchées de 30 à 40 mètres de profondeur. Pour les déchets de haute activité et les déchets émetteurs alpha, on envisage le stockage définitif dans des formations géologiques; considérant que les possibilités pratiques de ce procédé sont amplement démontrées, le Gouvernement du Royaume-Uni n'envisage pas de poursuivre des études dans ce domaine dans un avenir proche.

En France, le combustible est retraité. Les déchets de faible activité sont stockés sur le site de la Manche, les déchets de moyenne activité seront stockés sur un site nouveau et les déchets de haute activité dans des formations granitiques. En Suisse, on envisage très sérieusement la possibilité d'utiliser les formations granitiques pour le stockage des déchets de moyenne et haute activité. Au Danemark, des études de faisabilité ont été entreprises en vue du stockage des déchets de moyenne et haute activité dans des dômes de sel. La Commission des Communautés européennes a confirmé qu'elle continuerait à financer un programme complet d'études dans le domaine du traitement et du stockage des déchets.

Le conditionnement par vitrification des déchets de haute activité est en train de devenir la pratique courante. Mais il a aussi été fait état des progrès accomplis dans les recherches portant sur de nouvelles substances destinées au conditionnement des déchets de haute activité durant leur stockage de longue durée dans des formations géologiques profondes: matrices à mélange de sulfure de nickel et de graphite ou minéraux synthétiques à base de roches pourront concurrencer à l'avenir la vitrification.

Déclassement des installations du cycle du combustible

Tous les aspects concernant le déclassement des installations nucléaires ont été passés en revue: techniques utilisées, analyses de sûreté, réglementation, coût, nettoyage du site et domaines nécessitant de nouveaux travaux de recherche. Les opérations de décontamination et de déclassement ont fait l'objet d'exposés documentés: décontamination, démontage et emballage de matériel de traitement contaminé par du plutonium et de l'uranium enrichi dans une installation américaine spécialisée dans la fabrication de combustible à oxyde et à carbure pour réacteurs à eau ordinaire et réacteurs surgénérateurs rapides; programme de décontamination et de déclassement partiel représentant 150 000 heures de travail à l'usine de retraitement d'Eurochemie en Belgique. Une fois la décontamination achevée, il était possible d'avoir accès à l'ensemble des cellules et du matériel de traitement.