

L'expérience acquise dans le domaine nucléo-énergétique

par J. Daghish*

La Conférence sur l'expérience acquise dans le domaine nucléo-énergétique[†] organisée par l'AIEA a mis l'accent sur l'expérience technique et économique de la production nucléo-énergétique au cours des trois dernières décennies. La planification et la réalisation des programmes nucléo-énergétiques (en particulier dans les pays en développement), le cycle du combustible nucléaire, l'expérience en matière de sûreté nucléaire, les garanties internationales et un certain nombre d'autres sujets ont été discutés au cours d'une semaine de réunions et de tables rondes.

En un sens, cette conférence a ouvert la voie à une autre, la Conférence des Nations Unies pour la promotion de la coopération internationale dans le domaine des utilisations pacifiques de l'énergie nucléaire pour le développement économique et social (qui aura lieu du 29 août au 9 septembre 1983 à Genève). La conférence des Nations Unies, organisée pour répondre à la nécessité de soutenir les programmes nucléaires dans le monde avec des garanties appropriées de non-prolifération, s'appuiera sur l'expérience passée pour envisager l'avenir.

Au cours de la Conférence sur l'expérience acquise dans le domaine nucléo-énergétique, le Directeur général de l'AIEA, M. Hans Blix, a constaté que l'année 1982 marque à la fois le vingt-cinquième anniversaire de l'Agence et le cinquantième anniversaire de la découverte du neutron par Chadwick. Dix ans après cette découverte fondamentale, le phénomène de la fission n'avait pas seulement été reconnu mais avait été réalisé dans la pile de Fermi à Stagg Field (Chicago) en décembre 1942.[‡] «Dix ans, je pense, est un laps de temps remarquablement court pour passer d'une découverte fondamentale à une application qui a présenté un très grand potentiel», a déclaré M. Blix. «Il est vrai que ce potentiel était en partie militaire et que c'est cet aspect qui a reçu priorité. Néanmoins, en l'espace de 10 à 15 ans après cette première réaction en chaîne réalisée par l'homme, des centrales nucléaires de démonstration produisent de l'électricité dans trois pays. A nouveau, ceci a été remarquablement rapide.

* A l'époque de la Conférence sur l'expérience acquise dans le domaine nucléo-énergétique, M. Daghish était rédacteur-correcteur d'*ATOM*, United Kingdom Atomic Energy Authority, 11 Charles II Street, Londres SW1Y 4QP (Angleterre).

† Tenue du 13 au 17 septembre 1982 à Vienne, la Conférence sur l'expérience acquise dans le domaine nucléo-énergétique a réuni plus de 1000 participants originaires de 61 pays. Deux cent quatre-vingt-huit mémoires provenant de 32 pays et neuf organisations internationales ont été lus et discutés à la conférence. Les comptes rendus de la conférence seront publiés ultérieurement par l'AIEA.

‡ Voir l'article de M. Goldschmidt, page 3 du présent numéro du *Bulletin de l'AIEA*.

«Dix ans après, en 1962, les premières centrales nucléaires de démonstration de plus grandes dimensions étaient en service et on passait le contrat concernant le premier réacteur à eau légère concurrentiel. Ceci en soi a eu une influence fondamentale sur l'évolution du marché international, où le réacteur à eau légère a bientôt pris une importance dominante, concurrencé par d'autres filières. Le résultat – comme nous le savons tous – a été une augmentation considérable des commandes de centrales nucléaires.

«Il y a dix ans, en 1972–73, lorsque s'est produit le premier choc pétrolier, on croyait non seulement que l'énergie nucléaire allait assurer une grande partie de la production de l'électricité, mais aussi qu'elle établirait une nouvelle référence pour les coûts de l'énergie. En réalité, c'était le début d'une décennie troublée pour l'énergie nucléaire, décennie marquée par des inquiétudes quant aux questions techniques et économiques en même temps que par une diminution de la confiance de la population de nombreux pays dans les avantages de cette source d'énergie.»

M. Michel Pecqueur, Administrateur général du Commissariat français à l'énergie atomique, a souligné cette évolution dans une allocution liminaire. Les 30 dernières années ont vu une augmentation sans précédent de la consommation d'énergie; corrélativement elles ont été marquées par une expansion industrielle sans précédent. Depuis 1973, le problème de l'énergie a priorité dans l'économie mondiale; le retour à la croissance, qui seul peut permettre de vaincre le chômage, implique la disponibilité de sources d'énergie suffisantes à des prix acceptables et une sécurité d'approvisionnements garantie. Le développement ordonné d'énergies diversifiées dans leur nature et leur origine géographique est un impératif dans la perspective d'une restauration de l'équilibre économique mondial. Les pays en développement doivent avoir un accès grandissant au pétrole importé – source la plus simple et la plus souple d'emploi. Dans un monde d'interdépendance, leur développement nourrira la croissance des pays industrialisés qui corrélativement ont la responsabilité de maîtriser leurs besoins et de réduire le plus possible le recours au pétrole importé. «L'énergie nucléaire a un rôle important à jouer» a déclaré M. Pecqueur. «Avec le charbon, elle est par excellence et pour des besoins massifs l'énergie de substitution au pétrole. Elle est fiable, elle est sûre, elle est économique ... En un mot, cette énergie est arrivée à maturité».

Dans ces conditions, comment se fait-il que même dans les pays développés, le recours à l'énergie nucléaire soit difficile? M. Pecqueur a esquissé les grandes lignes des discussions qui devaient avoir lieu pendant le reste de la semaine. La mise sur pied d'une industrie nucléaire

constitue une oeuvre complexe. La création des structures industrielles et les activités de recherche et développement qui doivent l'accompagner constituent un effort financier qui n'est à la portée que de quelques grands pays industrialisés. Pour les autres, afin de bénéficier de l'accès à l'énergie nucléaire, il faut d'abord trouver les moyens de financer l'achat de réacteurs. Or, les unités nucléaires vendues aujourd'hui sur le marché ne répondent le plus souvent qu'aux besoins de pays disposant de grands réseaux électriques. L'exploitation d'une centrale nucléaire exigeant du personnel parfaitement formé, il y a souvent un goulot d'étranglement qui peut faire différer l'introduction des techniques nucléaires dans certains pays.

M. Pecqueur a noté que le problème du développement de l'énergie nucléaire se pose dans toute son acuité dans les pays industrialisés, où (l'on devrait assister à un développement méthodique de l'énergie nucléaire, adapté aux conditions nationales. Or les vagues de commandes des années 1970-75, qui devraient aujourd'hui commencer à porter leurs fruits, se sont souvent brisées sur des écueils psychologiques). L'énergie nucléaire est encore une «nouveau». «Si la situation est ce qu'elle est, nous y sommes pour quelque chose», a-t-il dit. «Nous avons développé l'énergie nucléaire, et je crois que nous l'avons fait comme il fallait. Nous avons par contre longtemps omis de faire connaître nos travaux au grand public. Cela n'est pas facile, la complexité de cette technique rend son accès malaisé. C'est pourtant ce qu'il nous faut faire à seule fin de démystifier les choses. N'est-ce pas l'essence de la démocratie que d'affirmer que le jugement du plus grand nombre, quand il est éclairé, conclut différemment.

«Mais ceci suppose aussi la détermination de la volonté politique exprimée au niveau national. Nous avons notre rôle à jouer, certes, mais au sens le plus élevé du terme, c'est de la responsabilité politique qu'il s'agit, dès lors que les phénomènes psychologiques ont pris, en ce domaine, l'importance que nous constatons».

Aucune industrie au monde n'a étudié sa propre sûreté avec autant de soin, a dit M. Pecqueur – soulignant à nouveau un thème commun des exposés qui devaient suivre. «Néanmoins, nous nous sommes toujours refusés à affirmer que nos centrales étaient sûres à 100%. Nous reconnaissons la possibilité, au moins théorique, qu'un accident grave puisse se produire même si sa probabilité est extrêmement faible. Dès lors, cet état de choses, qui procède d'une attitude scientifique, est parfois exploité pour tenter d'imposer des règlements de plus en plus draconiens et rechercher la preuve introuvable de la sûreté absolue. Cette approche a pour effet de retarder considérablement la construction des centrales, d'augmenter leurs coûts de façon considérable, mais ne change que nominalement d'un pourcentage infime et incertain le niveau de sûreté parce qu'elle ne prend pas toujours en compte les problèmes réels. A la limite, elle peut rendre les centrales plus difficiles à exploiter parce que beaucoup plus complexes.

«De même, en ce qui concerne la fin du cycle, c'est une attitude facile d'exiger que dès la décision de construction d'une centrale, tout soit connu, non seulement sur la centrale mais sur son combustible et le devenir de celui-ci à travers les siècles. Les progrès

techniques dans ce domaine ont été tels que l'on peut dire aujourd'hui que des solutions existent dès à présent pour conditionner de façon sûre les déchets issus du retraitement des combustibles irradiés ou même des combustibles eux-mêmes, bien que cette dernière solution paraisse moins satisfaisante dans son ensemble. Mais il est dangereux de vouloir, des dizaines d'années à l'avance, figer des options techniques alors que des solutions bien meilleures peuvent être dégagées entre temps, en particulier en ce qui concerne le stockage final. Il faut donner aux scientifiques et aux techniciens le temps nécessaire pour mettre au point les solutions les meilleures».

Pour terminer, M. Pecqueur a lancé un appel à «la raison des hommes». «Il est pratiquement certain que dans les vingt prochaines années le monde connaîtra des crises énergétiques graves, et que la vulnérabilité de nos approvisionnements énergétiques sera un élément essentiel pour nos économies», a-t-il dit. «D'autre part, les perspectives du vingt et unième siècle nécessitent que l'on apporte une dimension nouvelle aux ressources énergétiques du monde. L'humanité va-t-elle laisser échapper par inconscience, ou par indifférence, un atout essentiel, économique, sûr et disponible, pour assurer sa survie énergétique à moyen et long terme? Résolument optimiste, je ne peux le croire et continue à penser que la machine complexe du monde va se remettre progressivement en marche et générer un renouveau dans les programmes nucléaires».

Limites de la croissance

Dans une seconde allocution importante, le professeur Ivan Morozov, Vice-président du Comité d'Etat de l'URSS pour l'utilisation de l'énergie atomique, a fait valoir que les réserves mondiales de charbon, d'uranium, de thorium et de combustibles thermonucléaires en particulier, pouvaient satisfaire aux besoins énergétiques de l'homme pendant des siècles, quel que soit pratiquement le taux de croissance de la demande. Les limites de la croissance seraient déterminées par d'autres facteurs, en particulier ceux d'ordre écologique.

Le professeur Morozov a cité les principaux facteurs techniques, économiques et également sociaux et politiques qui devraient affecter les taux de croissance de l'énergie d'origine nucléaire jusqu'à la fin de ce siècle et au début du prochain. Tout d'abord, les progrès réalisés sur le plan de la technologie et de la création d'une capacité dans la partie terminale du cycle du combustible – retraitement, entreposage et stockage final de déchets radioactifs – joueraient un grand rôle. En principe, les principaux problèmes techniques et technologiques du retraitement et de la gestion des déchets ont déjà été résolus. De l'avis du professeur Morozov, il n'y a pas d'autre solution raisonnable que le retraitement si l'on veut développer l'énergie nucléaire sur une grande échelle.

«Nous devrions toujours tenir compte de certains facteurs qui entrent constamment en jeu», a-t-il dit, «l'accroissement démographique, la maîtrise d'une vaste expansion économique comprenant aussi la production d'énergie à la fois dans les pays développés et les pays en développement; l'augmentation de la consommation



La Conférence sur l'expérience acquise dans le domaine nucléo-énergétique a réuni plus de 1000 participants originaires de 61 pays. La presse était également présente. On voit ici les orateurs qui ont pris part à la conférence de presse à la fin de la première journée: (de gauche à droite) M. B.A. Semenov, président du comité d'organisation de la Conférence et Directeur général adjoint de l'AIEA, Chef du Département de l'énergie et de la sûreté nucléaires; le professeur I.G. Morozov (URSS), qui a présenté l'un des exposés liminaires; le Directeur général de l'AIEA, M. Hans Blix; M. M. Pecqueur (France) qui a présenté l'autre exposé liminaire; et le Chef adjoint du Secrétariat scientifique de la Conférence, M. R. Skjoeldebrand.

industrielle d'énergie, la protection de l'environnement, la nécessité de résoudre les problèmes sociaux et divers autres problèmes de cette nature».

En dehors de son utilisation pour la production d'électricité, on pourrait s'attendre à ce que l'énergie d'origine nucléaire entre pour une plus grande part dans la production totale d'énergie, à partir des années 1990, en remplaçant les combustibles fossiles pour la production de chaleur. Le professeur Morozov a fait observer que plus de la moitié de la consommation de combustibles fossiles de l'Union soviétique sert à cette fin.

«Le problème de l'utilisation à grande échelle de combustible nucléaire pour la production combinée de chaleur et d'électricité est actuellement à l'étude dans un certain nombre de pays, et d'ici très peu de temps un nouveau domaine important de spécialisation apparaîtra manifestement — la production de chaleur et d'électricité nucléaires», a-t-il dit. L'Union soviétique a mis au point et exécuté des projets de centrales produisant à la fois de la chaleur nucléaire et de l'énergie, où la production de chaleur est combinée à celle d'électricité, ainsi que des centrales nucléaires pour le chauffage urbain qui ne produisent que de la chaleur à usage domestique».

L'énergie nucléaire pourrait aussi servir certainement à produire de la chaleur haute température pour l'industrie, au moyen de réacteurs à haute température modérés au graphite et refroidis à l'hélium; ceci élargirait la portée de l'application directe des sources nucléaires en métallurgie et dans des procédés chimiques comme la gazéification du charbon. En principe, le combustible nucléaire pourrait aussi être utilisé efficacement pour les transports: la navigation prolongée de brise-glaces à propulsion nucléaire sous des latitudes élevées dans les régions transarctiques a démontré de manière convaincante que ceux-ci peuvent s'acquitter de tâches qui sont trop difficiles pour les brise-glaces consommant du combustible fossile. L'Union soviétique a aussi une certaine expérience de l'utilisation de navires à propulsion nucléaire pour le transport des marchandises. «Bien que l'emploi de la propulsion nucléaire pour les navires soulève certes un certain nombre de problèmes complexes et difficiles, il est tout à fait possible que dans un avenir relativement proche la construction de grands vaisseaux, par exemple celle de porte-conteneurs, soit économiquement faisable».

Le professeur Morozov a insisté sur le fait que bien avant l'épuisement des ressources d'uranium il sera

nécessaire de mettre en œuvre des mesures visant à réduire le taux de consommation de l'uranium — en améliorant la rentabilité des cycles du combustible des réacteurs thermiques (augmentation des taux de combustion, introduction du retraitement du combustible irradié sur une grande échelle et autres mesures) et en construisant des réacteurs à neutrons rapides. «Il convient de souligner l'importance essentielle de cette approche car elle seule permettra à pratiquement tous les pays de parvenir au développement énergétique qui leur est nécessaire en utilisant comme combustibles secondaires les ressources nationales en combustible, puisqu'en pareil cas le prix de l'uranium ne sera plus un facteur décisif», a-t-il dit. Dans la pratique, le calendrier de l'introduction des réacteurs à neutrons rapides dépend néanmoins de nombreux facteurs; d'après les prévisions les plus optimistes, elle commencerait au cours des années 1990.

Faits marquants de la session

La Conférence a été marquée par le large accord entre les conclusions des mémoires présentés par des auteurs de formations très diverses, appartenant à la fois à des pays industrialisés et à des pays en développement.

Un fait important et manifeste est que la part du nucléaire dans la production d'électricité est déjà importante et qu'elle grandit. En France, par exemple, les centrales nucléaires ont fourni en 1981 près de 100 milliards ($100 \cdot 10^9$) de kWh, soit 40% environ de la production totale d'électricité. En Suède, cette part est de 36%; en Belgique, de 22%; au Japon, de 17%; dans la République fédérale d'Allemagne, de 15%, et aux Etats-Unis et au Royaume-Uni d'environ 12%. L'importance de la contribution que l'énergie d'origine nucléaire peut apporter à la production d'électricité est reconnue même dans les pays qui n'ont encore que des programmes relativement restreints. En Espagne, l'énergie nucléaire est «une solution presque obligatoire si l'on veut poursuivre le développement économique, industriel et social»; en Inde, l'insuffisance de la production d'électricité a été «le plus important des facteurs affectant la croissance économique». Un grand nombre de pays en développement sont en fait obligés de se tourner vers l'énergie nucléaire, malgré l'énorme effort national nécessaire simplement pour conserver leurs ressources classiques limitées, qu'il s'agisse de ressources hydrauliques, de charbon et de pétrole, ou même de bois. L'expérience de l'Inde fait ressortir les problèmes qu'un pays en développement peut avoir à résoudre: la nécessité d'une infrastructure industrielle adéquate; les long délais de construction; la difficulté d'intégrer des unités nucléaires relativement importantes dans des réseaux de distribution de dimension petite ou moyenne, et ainsi de suite. Néanmoins, «il est entièrement possible à un pays en développement de profiter des bienfaits de la technologie de l'énergie d'origine nucléaire».

Malgré le besoin constant d'énergie, l'augmentation du coût des mesures qui permettent d'accroître la sûreté a elle aussi limité la croissance nucléaire. Un mémoire présenté par des spécialistes belges indique que ces mesures représentaient 30% du coût d'une centrale nucléaire mise en service en 1975. Pour les centrales

actuellement en construction ou qui entreront en service en 1983 et 1984, ce pourcentage est passé à presque 50%. Simultanément, les délais de construction des centrales — actuellement environ cinq ou six ans dans la plupart des pays — ont eu tendance à s'allonger parce qu'on accorde une attention accrue à la conception de la centrale et à l'assurance de la qualité pour se conformer à des exigences réglementaires toujours plus rigoureuses.

D'après une déclaration de la Conférence mondiale de l'énergie, présentée au cours d'une séance plénière antérieure, le nucléaire «a surabondamment fait ses preuves, mais à mesure que son emploi augmente, il se heurte de la part de l'opinion publique à une résistance accrue dont la gravité varie d'ailleurs selon les pays. Depuis quelques années, les risques du nucléaire ont fait l'objet d'innombrables discussions et on ne s'est peut-être pas assez soucié des risques encore plus graves qui nous menaceraient si l'énergie nucléaire n'arrivait pas, en temps utile, à remplir le rôle qu'on attend d'elle». Les prévisions énergétiques que nous jugeons tous avec «un scepticisme de bon aloi» n'en sont pas moins d'utiles indicateurs des tendances futures. «Si la croissance se poursuit dans des conditions raisonnables et s'il n'y a pas de catastrophe, on peut penser que vers les années 2000 à 2020 le monde ne pourra pas se passer d'énergie nucléaire».

A l'appui de cette déclaration, le Saint-Siège a présenté un mémoire qui fait valoir que l'humanité devrait pouvoir garantir un approvisionnement suffisant en énergie pour la fin du siècle, à condition que les mesures nécessaires soient prises dès maintenant de façon suffisamment rigoureuse. Le mémoire reconnaît que la possibilité d'un lien entre l'énergie nucléaire et la prolifération des armes nucléaires a soulevé quelques préoccupations mais rappelle que «lorsqu'un pays a atteint un certain niveau général de connaissances et de compétence technique, la question de savoir s'il va fabriquer des armes nucléaires dépend essentiellement de considérations politiques. C'est pourquoi, à condition de prendre des précautions suffisantes, il n'y a pas de raison d'interdire le développement de l'énergie nucléaire à des fins civiles».

Situation actuelle

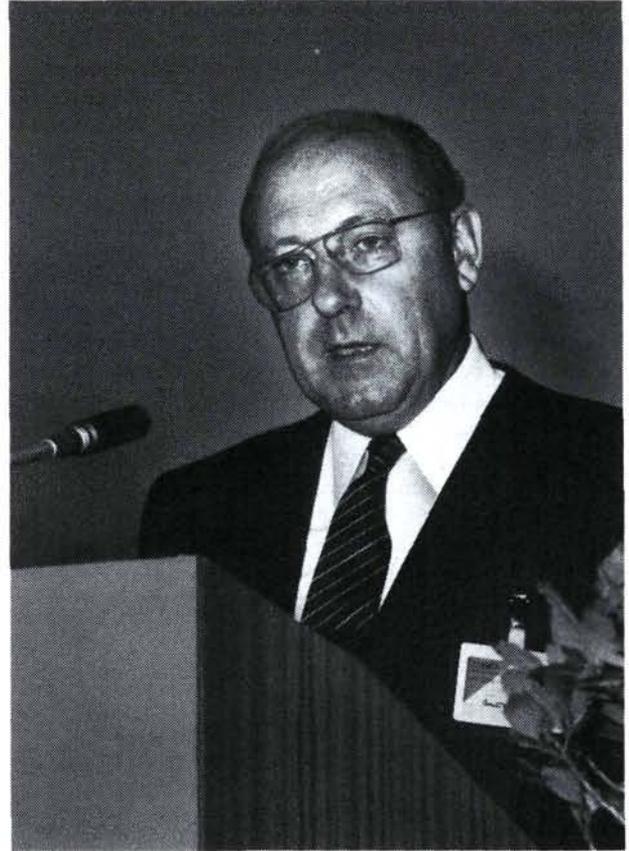
Il a été indiqué qu'il y a maintenant dans les Etats Membres de l'AIEA 281 centrales nucléaires d'une capacité totale de plus de 161 000 MWe, qui pourront fournir en 1982 10% de l'électricité produite dans le monde. On envisage désormais le nucléaire non seulement pour les centrales fournissant la charge de base, mais aussi pour celles qui fonctionnent en suivi de charge. L'emploi de centrales nucléaires fournissant à la fois de la chaleur et de l'électricité se développe en URSS notamment. Sur le total de la puissance nucléaire installée, les réacteurs à eau sous pression représentent 55,5% (91 323 MWe), les réacteurs à eau bouillante 26% (42 050 MWe) les réacteurs à eau légère modérés au graphite 6,1% (9926 MWe), les réacteurs à eau lourde sous pression 3,8% (6093 MWe), les réacteurs refroidis par un gaz 4,5% (7484 MWe) et les réacteurs de types divers 3,1% (5000 MWe).

Un mémoire commun de la Conférence mondiale de l'énergie de l'UNIPED* et de l'AIEA examine la performance des centrales nucléaires et l'a comparée à celle des centrales chauffées par des combustibles fossiles en puisant dans les données accumulées par le Système de documentation sur les réacteurs de puissance de l'Agence (PRIS). Le rapport a conclu que la disponibilité des centrales nucléaires n'a pas été sensiblement inférieure à celle des centrales chauffées par des combustibles fossiles dans les mêmes gammes de puissance; il serait souhaitable toutefois et il paraît encore possible d'accroître la disponibilité des centrales nucléaires, notamment en facilitant le retour de l'information sur l'expérience d'exploitation de centrales similaires, et en perfectionnant la gestion. On constate que ce sont les parties non nucléaires ou «classiques» des centrales nucléaires qui contribuent le plus à l'indisponibilité, et le rapport a indiqué qu'on pourrait dans l'avenir éviter ces difficultés en procédant avec soin et prudence à la normalisation des principaux composants ainsi qu'aux extrapolations de dimension et de performance dans la conception des centrales.

Le rapport a signalé que, par rapport au facteur d'utilisation théorique de 80% qui est toujours celui qu'indiquent les constructeurs pour les centrales rechargées à l'arrêt, les 62,4% obtenus en 1980 pour les centrales recensées dans le système PRIS représentent une perte de production de 160 terawatts-heures (correspondant à une capacité de 23 120 MWe avec un facteur d'utilisation théorique de 80%). Cette «perte» peut être considérée comme une réserve dont on pourrait disposer dans l'avenir sans construire de nouvelles centrales – à condition qu'il soit possible d'améliorer la capacité des centrales déjà installées.

Le résultat d'une étude conjointe consacrée par l'AIEA et l'UNIPED aux investissements et aux coûts de production de l'électricité ont indiqué que, sauf peut-être pour les centrales construites au Canada et en France, les coûts d'équipement augmentent plus rapidement dans le cas des centrales nucléaires que dans celui des centrales thermiques au charbon. Cette hausse accélérée est imputée dans une grande mesure à l'allongement considérable de la durée d'exécution des projets de construction de centrales dans la plupart des pays. La France, qui constitue ici une exception notable, comme cela a été si souvent le cas dans d'autres domaines étudiés à la Conférence, a néanmoins pu maintenir des délais de réalisation stables et raisonnablement courts.

Le rapport commun a conclu cependant qu'en Europe et au Canada, malgré la hausse rapide des coûts d'investissement, l'électricité d'origine nucléaire reste malgré tout plus économique que celle que produisent les centrales thermiques au charbon, et qu'elle est compétitive aussi dans les Etats de l'est et du centre-nord des Etats-Unis. (A l'ouest des Etats-Unis, l'abondance de houille bon marché confère l'avantage aux centrales à charbon.) Une étude de l'UNIPED sur les coûts de la production d'électricité en Belgique, en France, en Italie, aux Pays-Bas, dans la République fédérale d'Allemagne et au Royaume-Uni – étude partant de certaines hypothèses spécifiques à chaque



L'Administrateur général du Commissariat français à l'énergie atomique, M. Pecqueur, a souligné dans son exposé que depuis 1973 le problème de l'énergie a priorité dans l'économie mondiale; le retour à la croissance, qui seul permettra de vaincre le chômage, suppose une offre d'énergie suffisante – à des prix acceptables et avec une sécurité d'approvisionnement garantie.

pays – a montré que, avec un taux d'actualisation annuel de 5%, le coût de l'électricité produite par les centrales nucléaires représente de 53% (République fédérale d'Allemagne) à 76% (Royaume-Uni) de celui de l'électricité produite par les centrales au charbon. Avec un taux d'actualisation annuel de 10%, jugé trop élevé pour être réaliste, l'électricité nucléaire reste compétitive puisque son coût représente alors de 67% (France) à 93% (Royaume-Uni) de celui de l'électricité produite par les centrales au charbon.

Un mémoire de la République fédérale d'Allemagne tout à fait représentatif des analyses présentées sur les performances techniques des centrales nucléaires conclut que les exploitants ne sauraient se contenter de constater que l'expérience d'exploitation peut jusqu'à présent être qualifiée de «bonne». Cette expérience doit servir de moteur à un progrès continu. Un thème commun des mémoires présentés a été que l'objectif d'une exploitation sûre et rentable peut être atteint par la normalisation de la conception des installations, l'emploi de matériaux et de procédés de fabrication standardisés, la construction de séries de centrales de même modèle présentant les mêmes caractéristiques techniques (comme en France), l'application de procédures rigoureuses et efficaces d'analyse et de contrôle de la qualité, ainsi que l'amélioration des

* Union internationale des producteurs et distributeurs d'énergie électrique.

pratiques d'exploitation des centrales par l'échange d'informations sur l'expérience concrète accumulée et les méthodes générales de résolution des problèmes.

Cycle du combustible

Il est apparu évident, pour citer un mémoire, qu'en dépit du changement des conditions économiques depuis 1973 et de la révision en baisse des prévisions de croissance de la demande d'énergie qui en est résultée, les grandes orientations du développement de l'industrie nucléaire propres à assurer une contribution soutenue et valable de sa part aux approvisionnements énergétiques demeurent les mêmes. La capacité de production d'uranium dépasse actuellement la demande et cette situation pourrait se maintenir jusque dans les années 90 si le marché de l'uranium évolue harmonieusement. A première vue, il peut donc sembler peu urgent de retraiter le combustible épuisé, mais des auteurs du Royaume-Uni ont souligné qu'il importe de conserver plusieurs éléments présents à l'esprit:

- à long terme, le bilan écologique est plus favorable si l'on retraitre le combustible et utilise le plutonium extrait;
- le retraitement du combustible des réacteurs à neutrons thermiques permettra de disposer du stock initial de plutonium nécessaire pour les réacteurs à neutrons rapides qui produiront ensuite eux-mêmes leur propre combustible de remplacement;
- les opinions diffèrent quant aux délais dans lesquels on aura besoin de réacteurs à neutrons rapides, mais la plupart des observateurs bien informés estiment qu'il serait raisonnable de les introduire à l'échelle industrielle au cours du premier quart du siècle prochain; et
- un système industriel associant tant le réacteur rapide que son cycle du combustible devra avoir fait ses preuves environ 10 ans avant sa généralisation.

Ces considérations et d'autres font apparaître qu'il faudra rapidement démontrer les avantages du retraitement en utilisant des usines de grande taille afin de bénéficier au maximum des économies d'échelle. De telles usines, en concentrant le retraitement dans un nombre limité d'installations, faciliteront également l'application de garanties améliorées et réduiront les craintes au sujet de la prolifération.

Un mémoire de l'Institut de l'uranium a souligné que les fluctuations du marché pouvaient créer de graves problèmes pour l'industrie de l'uranium, qui restera toujours vulnérable à des interventions soudaines et imprévues des pouvoirs publics sur le marché. L'Institut a mis au point une série de recommandations pour aider les pouvoirs publics, les consommateurs et les producteurs d'uranium à mettre en place un marché cohérent et à assurer la sécurité des approvisionnements.

L'étrangeté de la situation actuelle du marché de l'uranium a été mise en évidence au cours de l'une des séances techniques. Les grands efforts de prospection entrepris dans les années 70 en période de *hausse* des prix de l'uranium ont entraîné une surproduction qui a provoqué une *baisse* des prix. Les cours actuels sont si bas que de nombreux producteurs ne peuvent même plus subsister. On ferme les mines et les usines et on ajourne les plans de production, notamment aux

Etats-Unis. On s'attend à ce que la réduction de la production entraîne pendant la présente décennie une *remontée* des prix, qui atteindraient un niveau proche de celui des années 70 — à savoir environ 160 dollars par kg d'uranium (60 dollars par livre d'oxyde d'uranium U_3O_8) en dollars de 1982, ce qui assurerait l'existence d'une capacité de production suffisante lorsque la demande l'exigera.

Au cours d'une autre séance technique, des mémoires ont illustré la remarquable diversité des procédés d'enrichissement de l'uranium commercialement viables. On a signalé que l'usine de diffusion gazeuse d'Eurodif à Tricastin dans la vallée du Rhône a atteint sa capacité annuelle prévue de 10,8 millions d'unités de travail de séparation (uts), ce qui fait d'Eurodif l'un des principaux fournisseurs de services d'enrichissement et rend l'Europe en grande partie indépendante dans ce domaine. Le projet tripartite Urenco a également bien progressé puisque deux usines de centrifugation étaient déjà en service (à Capenhurst au Royaume-Uni et à Almelo aux Pays-Bas) et qu'il est prévu d'en construire une troisième en République fédérale d'Allemagne. Sur la base des contrats de vente déjà obtenus par Urenco, la capacité annuelle sera portée à 2 millions d'uts vers la fin des années 80. Aux Etats-Unis, les usines de diffusion gazeuse qui, à l'heure actuelle, ne fonctionnent pourtant qu'à environ 35% de leur capacité, fournissent toujours les charges de base de la majeure partie du monde. Les projets d'amélioration et d'agrandissement des installations, qui devraient être achevés en 1983, porteront la capacité à 27,3 millions d'uts par an alors que les besoins d'énergie électrique par uts ont diminué d'environ 23%. La France a fait état de progrès considérables dans la mise au point du procédé *Chemex* dévoilé à la Conférence de Salzbourg* et la République fédérale d'Allemagne a également signalé des progrès considérables dans la mise au point du procédé Becker de séparation à tuyère. Une usine pilote utilisant ce procédé est en construction au Brésil.

Gestion des déchets

Un certain nombre de mémoires ont souligné la nécessité de poursuivre les recherches sur les différents modes possibles de gestion à long terme des déchets de haute activité. L'expérience française permet de conclure que l'on dispose maintenant de procédés non seulement pour conditionner les déchets de faible et moyenne activité et assurer leur stockage définitif mais aussi pour pourvoir au conditionnement primaire et au stockage d'attente des déchets émetteurs alpha et des déchets de très haute activité, même si les auteurs d'un mémoire reconnaissent que des améliorations restent possibles. A long terme, on compte pouvoir déposer les déchets de haute activité solidifiés dans des formations géologiques profondes et des recherches sur cette option sont en cours dans un certain nombre de pays. Les auteurs français ont noté que les déchets en question sont de faible volume et que «la sécurité plus que satisfaisante de leur stockage d'attente pourrait

* Conférence internationale sur l'énergie d'origine nucléaire et son cycle du combustible tenue à Salzbourg (Autriche) du 2 au 13 mai 1977. Les comptes rendus de la Conférence ont été publiés par l'AIEA en huit volumes, en 1977.

sembler rendre moins urgente leur évacuation définitive». Toutefois, c'est là une erreur contre laquelle ces auteurs ont mis en garde. «Pour obtenir la sécurité la plus grande au meilleur coût (optimisation) le seul moyen est de poursuivre les efforts jusqu'à leur terme, c'est-à-dire la mise en service et l'exploitation d'un site de stockage définitif».

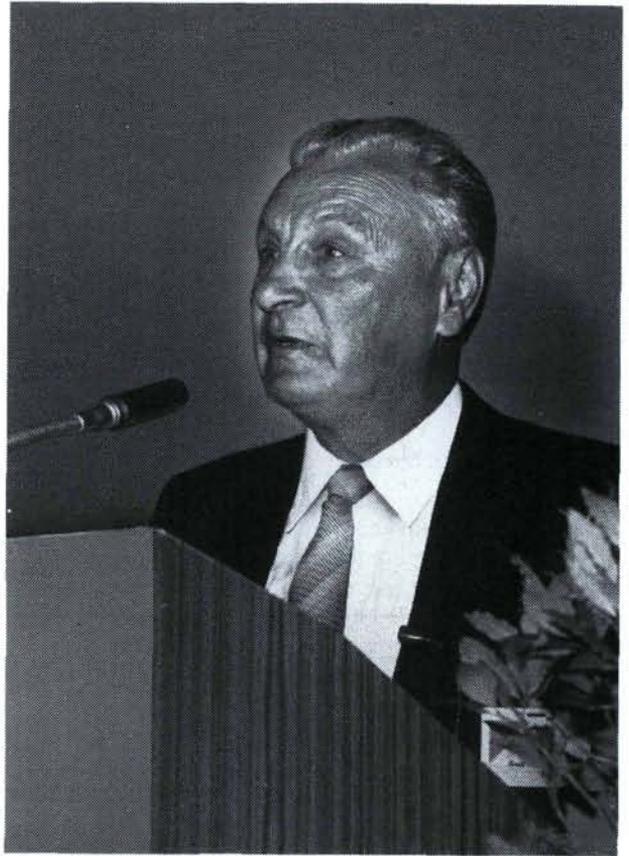
Un mémoire suédois a demandé que soient établis à l'échelle mondiale des critères généraux pour assurer la gestion de la partie finale du cycle du combustible et un système d'analyse quantitative des performances. Des organisations intergouvernementales comme l'AIEA et l'Agence de l'OCDE* pour l'énergie nucléaire (AEN) devraient s'atteler à la recherche d'un consensus dans ce domaine. En deuxième lieu «il faudrait que le système de stockage définitif des produits de haute activité et à longue période fasse l'objet de démonstrations convenablement conduites...». La réalisation de ces deux objectifs interdépendants est d'une grande importance pour l'avenir du nucléaire dans le monde.

Sûreté et garanties

L'un des thèmes essentiels de la conférence a été la sûreté des opérations du cycle du combustible nucléaire, à laquelle une séance plénière a été consacrée. Sir Walter Marshall, Président du UK Central Electricity Generating Board, a présenté un mémoire circonstancié concernant la manière dont nous *parlons* des conséquences des accidents graves. Sir Walter a signalé que les débats sur la sûreté nucléaire portent bien souvent sur le grand nombre de morts que pourraient théoriquement causer des accidents de réacteurs très improbables mais concevables. Cette circonstance ainsi que l'inadéquation du langage utilisé par les représentants de l'industrie nucléaire dans le débat public donnent à l'opinion une image déformée de la sûreté nucléaire.

Sir Walter a fait des recommandations sur la présentation des conséquences lointaines de ces accidents en termes de réduction de la longévité et d'augmentation des risques de cancer mortel en établissant une comparaison avec les conséquences d'une consommation *obligatoire* de cigarettes. Il a pris un exemple: supposons un accident «gigantesque» qui infligerait à 10 millions de londoniens une dose de 1 rem (0,01 sievert) par personne. D'après des calculs effectués sur la base des recommandations de la Commission internationale de protection radiologique (CIPR), le nombre des morts à long terme pourrait être de 1250. Un argument massue de Sir Walter a été que le même effet à long terme serait produit si l'on obligeait tous les habitants de Londres à fumer un vingtième de cigarette tous les dimanches – et il n'y aurait des morts que si l'accident avait lieu.

Dans un autre mémoire, des auteurs de la CIPR ont discuté de l'impact de leur publication N° 26 sur l'administration de la radioprotection. La publication N° 26 de la CIPR a paru il y a cinq ans. Les auteurs ont rappelé que des termes qui avaient d'abord été accueillis avec hésitation et avec scepticisme – tels que «équivalent de dose effectif», «dose collective», «engagement de dose» et «optimisation de la protection»,



Le professeur Morozov, Vice-président du Comité d'Etat de l'URSS pour l'utilisation de l'énergie atomique, a décrit notamment la mise au point en URSS de réacteurs nucléaires combinant la production de chaleur et la production d'électricité, et la réalisation de centrales nucléaires pour le chauffage urbain produisant seulement de la chaleur pour les usages domestiques.

ont peu à peu fini par être admis. D'autres mémoires ont montré qu'il n'est pas possible aujourd'hui de retenir des principes de conception qui ne seraient pas solidement fondés sur l'expérience, étant donné que le but est d'améliorer la fiabilité des mesures de prévention des accidents (qu'il s'agisse des caractéristiques de conception ou des interventions des opérateurs dans les cas d'urgence).

Les garanties contre le détournement de matières nucléaires ont fait à elles seules l'objet d'une séance plénière et d'une séance technique. Myron Kratzer – personnalité possédant une grande expérience dans ce domaine et qui appartient maintenant à la International Energy Associates Ltd à Washington – est parvenu à la conclusion dans son mémoire que «si imparfaites qu'elles soient, les garanties peuvent, lorsqu'elles sont bien appliquées, faire courir à ceux qui tenteraient de contrevenir à la non-prolifération un très gros risque d'être démasqués; c'est là un puissant moyen de dissuasion contre la prolifération, qui permet aussi de s'assurer avec un haut degré de probabilité que les activités nucléaires déclarées comme étant pacifiques le sont en effet. Lorsqu'il n'en est pas ainsi, les garanties peuvent donner l'alarme et déclencher les réactions appropriées. On a des preuves convaincantes que les garanties remplissent actuellement ces fonctions d'une façon digne

* Organisation de coopération et de développement économiques.

d'éloges... Elles continuent à mériter l'appui et la confiance dont elles ont joui jusqu'à présent en tant qu'élément important du régime de la non-prolifération».

Dans une étude présentée au cours d'une séance technique l'AIEA a souligné qu'il importe d'intensifier la recherche et le développement: la quantité totale de matières nucléaires utilisées dans le cadre de programmes nucléaires pacifiques augmente constamment, et leur emploi est de plus en plus complexe de sorte qu'il faudra également continuer à améliorer et à affiner les techniques de mesure et de vérification. Le mémoire a conclu que la tâche de l'Agence est «difficile mais non impossible».

L'énergie d'origine nucléaire dans les pays en développement

Ce panorama d'une conférence qui a exploré pratiquement de fond en comble l'expérience accumulée dans le monde serait incomplet s'il n'y était pas question du travail considérable qui se fait dans les pays en développement. Presque tous les mémoires présentés à ce sujet ont fait ressortir le déséquilibre flagrant qui existe actuellement entre les pays industrialisés et les nations en développement. Vingt pour cent de la population mondiale consomment 90% de l'énergie produite dans le monde. Outre que ceci est inéquitable, les pays en développement seront contraints dans un avenir relativement proche d'introduire l'énergie nucléaire afin d'économiser leurs ressources limitées.

A cette fin, toutefois, ils devront utiliser de plus en plus la technologie qui leur sera transférée par les nations plus avancées. La valeur de la coopération internationale dans ce domaine a été bien illustrée par dix mémoires présentés au cours de l'une des dernières séances plénières. L'un d'eux a décrit les réalisations importantes de l'AIEA elle-même dans des domaines aussi divers que la sûreté des installations nucléaires, la radioprotection et la protection de l'environnement, le transport et la protection physique des matières nucléaires, le traitement des données et l'échange d'informations nucléaires, la formation de main-d'oeuvre, la planification et la mise en oeuvre de programmes nucléaires, la responsabilité nucléaire, les mesures à prendre en cas d'urgence, les études sur le cycle du combustible et les publications spécialisées.

Un autre mémoire a souligné l'importance du rôle que joue le Conseil d'assistance économique mutuelle en encourageant la coopération et l'intégration multilatérales, et en facilitant le développement des programmes nucléo-énergétiques, y compris la mise au point de réacteurs à neutrons rapides, les études sur le cycle du combustible, la sûreté et l'assurance de la qualité. Un mémoire de l'AEN a noté que les gouvernements et les organisations intergouvernementales ont

eu un rôle moteur dans la création de projets communs de recherche et développement souvent en association avec l'industrie ou avec les organisations de recherche privées. Tout en conservant un grand intérêt, ces projets tendent maintenant à se concentrer sur un nombre de domaines limités.

De l'avis général, la réussite d'un programme de transfert de technologies suppose le choix d'une technique ayant fait ses preuves, des décisions fermes et un programme à long terme soutenu par le gouvernement. Il est nécessaire qu'un Etat qui s'intéresse à l'énergie d'origine nucléaire évalue objectivement ses propres capacités, qu'il choisisse un mode de transfert de technologie ayant fait ses preuves et un associé sûr, et qu'il identifie à temps toutes les catégories de personnel nécessaire et assure leur motivation.

Récapitulation

La conférence a pris fin sur la présentation d'une vue d'ensemble par M. Eklund, ancien Directeur général de l'AIEA. Celui-ci a constaté que le nombre de personnes sans emploi en Europe occidentale est, ou sera bientôt, de l'ordre de 30 millions. «La science et la technologie n'ont pu corriger cette situation car leurs réalisations du point de vue des activités industrielles se traduit généralement par une réduction du nombre d'emplois», a-t-il déclaré. Néanmoins, la plupart des auteurs de mémoires présentés à la conférence ont été d'avis que l'énergie d'origine nucléaire devrait contribuer essentiellement à satisfaire la demande future d'énergie: d'ici l'an 2000 à 2020, le monde ne pourrait s'en passer pour assurer l'équilibre production-demande d'énergie.

M. Eklund a remarqué ironiquement: «Il me semble que nous pouvons déceler une certaine saturation du courant d'informations vraiment nouvelles sur les questions nucléaires», mais les efforts de réflexion et de rationalisation poursuivis dans un si grand nombre d'établissements pour cette conférence ont abouti à la présentation de nombreux renseignements utiles ... qui, dans l'avenir, contribueront à la viabilité économique de l'énergie nucléaire et à la sûreté des différents types d'installations dans le monde».

M. Eklund a conclu: «Au cours des dernières années j'ai souvent soulevé la question de savoir comment l'énergie nucléaire et l'industrie nucléaire pourraient survivre à la période actuelle. On peut y répondre très simplement: l'énergie d'origine nucléaire survivra si elle est économiquement viable, ce qui met en jeu à mon avis les questions de sûreté, d'évacuation des déchets et de déclassement des installations. Je vous pris de vous rappeler les paroles du défunt professeur Homi Bhabha: «Aucune énergie n'est plus coûteuse que l'absence d'énergie». Je suis convaincu qu'en dépit de son style un peu sec et terre-à-terre, la présente conférence a contribué à rendre l'énergie d'origine nucléaire plus viable».