

# **l'énergie d'origine nucléaire au service du développement**

Avant que l'énergie d'origine nucléaire puisse jouer pleinement son rôle dans le développement des pays moins avancés, il est essentiel de ne rien ignorer des divers facteurs économiques impliqués, notamment les investissements et le coût du combustible, ainsi que de la place que doit prendre cette forme d'énergie dans les programmes énergétiques actuels.

On a pu se faire une idée des problèmes et des moyens de les résoudre lors du colloque organisé par l'Agence en octobre dernier à Istanbul sur le thème suivant: «Les prix de revient de l'énergie d'origine nucléaire et leur influence sur le développement économique».

La présence de spécialistes venus de 35 pays a fourni une occasion exceptionnelle d'examiner les influences variables dans différentes parties du monde des prix de revient valables dans certaines régions mais de nature à provoquer des erreurs dans d'autres, les expériences différentes quant aux performances des réacteurs dans divers pays et les prévisions

des effets de l'introduction de filières «poussées» pour la production d'énergie d'origine nucléaire. L'espoir d'un rendement et d'une rentabilité meilleurs qui suivront la mise en service de réacteurs à neutrons rapides a été tempéré par des avertissements selon lesquels on doit encore apporter des preuves de leurs performances; il serait peut-être trop optimiste d'escompter une utilisation générale de ces réacteurs à partir de 1980.

A l'ouverture du colloque, M. Rurik Krymm (AIEA) a pris la parole au nom du Directeur général. Il a souligné le grand écart qui existe et persistera dans la répartition des centrales nucléaires entre les pays industriels et les pays en voie de développement. Les principales raisons de cet écart sont notamment le fait que les constructeurs concentrent leurs efforts sur les grandes unités de 500MW et plus qui ne trouvent pas toujours leur place dans des réseaux relativement peu importants, la baisse du prix du mazout dans le monde entier et la hausse du loyer de l'argent et du coût des installations nucléaires. Malgré ces éléments négatifs, l'électricité d'origine nucléaire continue à progresser et offre une possibilité très importante de diversifier les approvisionnements en énergie. M. Krymm a souligné qu'il ne fallait pas se contenter de comparer seulement les premières centrales nucléaires aux centrales classiques éprouvées depuis longtemps qui bénéficient de l'effet de série.

#### Analyse et évaluation

Parlant des critères de choix des centrales nucléaires, M. Jacques Gaussens (France) a étendu son analyse aux considérations qui, indépendamment des coûts de production, peuvent influencer sur la comparaison entre les centrales classiques et les centrales nucléaires à l'échelle nationale. La sécurité d'approvisionnement, les réserves de change, la formation de capital national et les possibilités des industries locales, tous ces facteurs soulèvent des questions extrêmement complexes auxquelles il n'est pas possible de répondre sans analyser les évaluations et les stratégies diverses compte tenu des incertitudes de l'avenir.

M. P. J. Searby (Royaume-Uni) a examiné le rôle de l'énergie dans des pays où le développement en est à des stades très différents. Les pays en voie de développement devraient étudier dans les détails l'offre et la demande ainsi que les perspectives en ce qui concerne les diverses sources d'énergie avant de se lancer dans des programmes ambitieux de réacteurs nucléaires.

Le lien entre l'énergie nucléoélectrique et le développement économique a été étudié par M. A. M. Aikin (Canada) qui a déclaré qu'à mesure que les centrales nucléaires se multiplient, l'expérience montre que, quelle que soit la filière, les dépenses d'investissement sont à peu près les mêmes. Dans les comparaisons économiques, le coût du cycle du combustible est donc essentiel. Ce coût est le plus bas lorsqu'on «brûle» directement de l'uranium naturel, ce qui présente le double avantage de permettre une diversification des sources d'approvisionnement et d'utiliser un cycle de combustible simple.

Un facteur économique dont les fluctuations sont très grandes d'un pays à l'autre est le coût du cycle de combustible. Un spécialiste invité, M. Soren Friis (Danemark), a fait observer que la part du mazout dans les approvisionnements en énergie augmentait encore et que son prix continuait à baisser malgré les difficultés de transport. A son avis, il est très probable que cette tendance persistera.

Pour M. J.H. Wright (Etats-Unis), si, selon certains renseignements, le prix de revient des réacteurs à eau sous pression avait augmenté de 50% depuis quatre ans aux Etats-Unis, les perspectives de l'énergie d'origine nucléaire ne sont pas pour autant décourageantes. Bien au contraire, les coûts des centrales au charbon, qui font normalement concurrence à l'énergie d'origine nucléaire aux Etats-Unis, ont eux aussi fortement augmenté et les deux formules demeurent compétitives. M. Wright a prévu que dans l'avenir, les prix de revient de la filière à haute pression seront considérablement diminués grâce au raccourcissement des calendriers de travaux et à l'amélioration des pratiques de construction; on a tout lieu de penser, d'après lui, que les coûts de l'énergie d'origine nucléaire seront même plus avantageux que ceux des centrales à charbon dans l'avenir.

M. H. Gutman (Allemagne) a passé en revue les récents progrès en ce qui concerne les réacteurs à haute température (RHT). De petits réacteurs de cette filière fonctionnent dans le Royaume-Uni, aux Etats-Unis et en Allemagne et on pense que les premières centrales européennes de ce type atteindront leur pleine puissance entre 1975 et 1977. Les études actuelles montrent les avantages économiques importants de cette filière notamment lorsque les cycles de combustible au thorium auront suffisamment fait leurs preuves pour qu'ils puissent remplacer les coeurs semi-homogènes et que l'on utilisera des turbines à gaz à la place des turbines à vapeur actuelles.

Les différentes étapes qui ont conduit l'Argentine à choisir un réacteur à eau lourde ont été évoquées par un spécialiste de ce pays M. B. J. Csik. Il a déclaré que des offres «clef en main» ont été acceptées à titre global mais que beaucoup d'entre elles ne contiennent pas une ventilation détaillée des prix de revient ni une définition complète de ce que le client est censé fournir. Il faut donc procéder à une évaluation critique de toutes les offres. Une partie du prix de la centrale qui a été choisie, soit environ 70 millions de dollars, a été prêtée par le constructeur. L'eau lourde et le combustible ne sont pas compris dans le montant global de l'opération «clef en main»; et si l'on tient compte aussi d'autres postes additionnels, le coût de la centrale est de 105 millions de dollars, ce qui représente 330 dollars par kilowatt heure. Les 300 tonnes d'eau lourde nécessaires ont été achetées aux Etats-Unis; les éléments de combustible seront fabriqués par le constructeur avec de l'uranium fourni par l'acheteur.

### Les besoins futurs

Le Pakistan, avec une population actuelle de 125 millions d'habitants, tire de 45 à 50% de son produit national brut de l'agriculture. M. A. Quaiyum (Pakistan) a déclaré qu'à la suite de l'industrialisation du pays, la part de l'agriculture diminue. Ce changement économique se reflète également dans le taux de croissance élevé de l'énergie électrique qui a été de 18% pendant les cinq dernières années. Les prix élevés du mazout et des autres sources d'énergie au Pakistan constituent un obstacle au développement. M. Quaiyum a examiné les coûts de production de l'énergie classique et de l'énergie d'origine nucléaire; en raison des faibles ressources en combustibles fossiles, l'énergie d'origine nucléaire constitue une source très prometteuse d'électricité à bas prix pour soutenir et accélérer le développement économique du pays.

Examinant l'état actuel et les prévisions de la production d'énergie dans son pays, M. Aybers (Turquie) a constaté que, même avec l'achèvement des nouveaux projets hydrauliques et thermiques actuellement à l'étude, il y aura un déficit énergétique marqué après 1982. Une grande centrale hydraulique sera peut-être construite par la suite dans le Firat mais, entre-temps, des études faites sur un réacteur à eau lourde sous pression CANDU ont montré qu'il serait peut-être approprié de construire une centrale nucléaire de 300 à 400 MW en 1976-77 et deux centrales nucléaires de 2 600 MW dans la période 1982-1987.

L'économie japonaise se développe rapidement, notamment en ce qui concerne l'industrie lourde et l'industrie chimique. Afin de satisfaire la demande croissante d'électricité, il est nécessaire, a dit M. Takei, de développer des ressources énergétiques nouvelles considérables. Jusqu'en 1950 environ, les principales ressources énergétiques du Japon étaient la houille blanche et le charbon. Mais, à cette époque, on a constaté que les ressources en houille blanche étaient insuffisantes et que l'utilisation de charbon n'était pas rentable. Ainsi, l'énergie thermique à base d'hydrocarbures est devenue une nouvelle source importante d'énergie. Mais le pétrole a ses inconvénients: il présente des dangers pour la population, il exige des importations énormes de produit brut et de fortes sorties de devises. De plus, l'emploi des hydrocarbures pour les centrales thermiques pourrait rendre le Japon dangereusement tributaire de certaines régions du monde pour ses approvisionnements en pétrole. C'est pourquoi le Japon a mis au point un plan d'électrification à long terme qui comporte la construction de 16 centrales nucléaires d'une capacité totale de 8 600 MW en 1975 et de 22 autres d'une capacité de 18 400 MW en 1978. Soixante dix pour cent de la production de courant électrique sera demandée à l'énergie thermique, 20% à la houille blanche et 10% à l'énergie nucléaire. D'après le plan à long terme, la capacité des centrales nucléaires sera de 30 000 à 40 000 MW en 1985, soit 18 à 25% de la capacité énergétique totale des centrales nucléaires japonaises. On pense que l'énergie d'origine nucléaire pourra faire concurrence aux centrales à mazout après 1975, notamment si les constructeurs japonais participent aux programmes nucléaires.

M. Lepecki a repris une étude du potentiel énergétique nucléaire au Brésil. Environ 30 000 MW seront nécessaires pendant les trente prochaines années. Il a également évalué les besoins auxquels doit faire face l'industrie dans plusieurs domaines: extraction, fabrication d'éléments de combustible et équipement des centrales, et incidence de ce programme nucléaire sur le niveau général de l'économie.

M. J. Barth (France) a étudié les problèmes qui se sont posés aux constructeurs lorsqu'ils ont voulu fixer d'une manière réaliste les prix des centrales. Une considération importante dont il a fallu tenir compte est l'élasticité des coûts des divers composants d'une centrale nucléaire en fonction de l'importance des séries envisagées. Il a également analysé les effets de la collaboration avec l'industrie locale sur les décisions des constructeurs. Deux des observations les plus importantes qui ont été faites au cours des discussions sur la conception des réacteurs et l'élaboration de programmes nucléaires ont été les suivantes:

1) Certains pays en voie de développement qui cherchent à se lancer dans des projets énergétiques nucléaires se heurtent au problème que pose un pourcentage d'utilisation initiale aussi bas que 50% pour les centrales nucléaires de dimension rentable.

2) Des pays en voie de développement retiennent souvent dans leurs études des chiffres très optimistes pour les coûts, sans tenir compte

suffisamment de l'incidence des problèmes technologiques et des retards de construction sur la rentabilité de la centrale.

### Coût des cycles des combustibles

M. A. D. Wordsworth (Royaume-Uni) a étudié en détail les problèmes posés par l'achat et la fabrication du combustible; il a souligné que l'on devrait procéder avec le plus grand soin à des études économiques comparées de différentes filières de réacteurs; par exemple, certaines analyses fondées sur des hypothèses trop favorables en ce qui concerne la facteur de charge, le taux d'intérêt et la période d'amortissement, amènent à conclure que l'installation qui demande les plus gros investissements est celle qui produit le kilowatt-heure au prix le plus bas. Le mémoire de M. A. J. Hoffmeister (Etats-Unis) présenté par M. F. Maltini (Suisse) donne une ventilation détaillée des coûts actuels du cycle du combustible et fait des prévisions sur l'évolution de ces coûts.

Une coopération régionale pour construire et exploiter les installations nécessaires à un cycle de combustible pour les centrales nucléaires a été suggérée par M. Ashton J. O'Donnell (Etats-Unis) parce qu'elle offre des facilités considérables pour le développement industriel et économique. Prenant comme exemple la bordure occidentale du Pacifique, il a estimé que l'Australie, la Chine, la Corée, le Japon, la Nouvelle-Zélande et les Philippines pourraient en bénéficier. Ces six pays produiront environ 30 000 mégawatts nucléoélectriques en 1980. Une telle coopération régionale pourrait améliorer la situation des investissements dans diverses industries et renforcer l'économie des pays considérés, notamment dans le secteur industriel.

### Dessalement nucléaire

L'an dernier, on a annulé le projet de construction d'une installation à deux fins qui devait produire de 250 à 750 millions de litres d'eau dessalée par jour pour la ville de Los Angeles (le sujet avait été examiné au colloque de l'Agence sur le dessalement nucléaire, à Madrid, en 1968). L'usine de dessalement nucléaire de Chevtchenko est presque terminée mais elle n'est pas encore en exploitation. En outre, les coûts des centrales nucléaires ont beaucoup augmenté (notamment aux Etats-Unis) ce qui, joint à l'augmentation du taux de l'intérêt, se traduit par la hausse du prix de revient estimatif de l'eau dessalée. Le moment est donc bien choisi pour examiner l'incidence des nouveaux facteurs techniques et économiques sur le dessalement.

M. Spiewak (Etats-Unis) a souligné que nombre de facteurs à l'origine de l'augmentation des coûts de l'électricité nucléaire ont fait monter encore davantage les coûts d'autres installations à forte intensité de capital, par exemple le coût du transport de l'eau à grande distance. Il a conclu que ce dernier coût est plus sensible à l'augmentation du loyer de l'argent et des frais de main-d'oeuvre que celui du dessalement; si l'on joint à cela les progrès de la technologie du dessalement, l'eau dessalée peut déjà entrer en concurrence avec les longs aqueducs.

Dans le secteur technique, les ingénieurs chargés de la conception des usines de dessalement nucléaire ont procédé à l'extrapolation des données relatives à la plus grande usine actuelle de dessalement ( $33\,500\text{ m}^3/\text{j}$ ) aux futures usines nucléaires à double fin de  $225\,000$  à  $750\,000$  ou même  $5\,500\,000\text{ m}^3/\text{jour}$ . A ce sujet le mémoire présenté par M. R. Douvry (France) sur l'usine de  $112\,500\text{ m}^3/\text{jour}$  commandée

A Taiwan, un réacteur de recherche, qui sera fourni par le Canada et fonctionnera à partir de 1973, sera placé sous les garanties de l'Agence.

Un accord à cet effet a été signé par M. Chi-Tseng Yang, Représentant permanent de la République de Chine auprès de l'Agence, et M. Sigvard Eklund, Directeur général

par Koweït est intéressante. Cette installation fonctionnera l'an prochain et comportera cinq unités de  $22\,500\text{ m}^3/\text{jour}$ ; c'est donc un prototype raisonnable pour de plus grandes installations nucléaires.

### Centres énergétiques et complexes agro-industriels

Israël, Porto-Rico et la République Arabe Unie participent avec les Etats-Unis à des études de factibilité sur des centres énergétiques et des complexes agro-industriels à créer dans ces pays. M. J.W. Michel (Etats-Unis) a signalé certains des éléments nouveaux des plus importants, indiquant notamment que les industries de l'aluminium et de l'acier et certaines industries d'engrais semblent être économiquement rentables lorsqu'on dispose de matières premières, et que la culture à sec du riz améliore la rentabilité agricole du complexe. M. W.C. Yee (Etats-Unis) a décrit un complexe chimique intéressant du point de vue économique, fondé sur l'utilisation du sel marin (mais on doit noter que le prix de l'eau dessalée n'est pas modifié par cette utilisation du sel marin, car seul un faible pourcentage du sel disponible peut être employé).

L'intérêt du complexe agro-industriel dépend beaucoup des hypothèses que l'on peut faire sur la quantité d'eau nécessaire à certaines récoltes, sur le rendement que l'on peut obtenir et sur le prix de vente des récoltes. D'après des travaux récents, les complexes agro-industriels peuvent être économiquement prometteurs pour certaines cultures bien déterminées. Des expériences agricoles utilisant de l'eau de haute qualité sont effectuées ou envisagées par les Etats-Unis, la France, le Koweït, Israël, l'Inde, et la République Arabe Unie; M. A. Fourcy a présenté une communication sur les travaux effectués en France.

Les discussions ont fait apparaître non seulement l'intérêt que portent nombre de grands pays en voie de développement aux derniers progrès nucléaires, mais aussi la complexité des problèmes que pose l'intégration des centrales atomiques dans les réseaux énergétiques. A ce sujet, plusieurs des mémoires décrivant les travaux préparatoires approfondis effectués par des groupements mixtes comprenant la commission de l'énergie atomique, des sociétés distributrices d'électricité et des consultants extérieurs montrent bien le soin apporté par certains pays à la préparation des premières étapes de leur développement nucléaire.

