

DEVELOPPEMENT DE L'ENERGIE D'ORIGINE NUCLEAIRE

A sa cinquième session ordinaire, qui s'est tenue en septembre-octobre 1961, la Conférence générale de l'AIEA s'est penchée sur la question du développement de l'énergie d'origine nucléaire. Au cours des séances plénières, les délégués ont, à maintes reprises, fait allusion aux plans des Etats Membres en la matière; la Commission du programme, des questions techniques et du budget de la Conférence a, en outre, procédé à l'examen détaillé de cette question, notamment à celui du prix de revient de cette forme d'énergie.

La Conférence générale était saisie d'un rapport du Conseil des gouverneurs sur les études consacrées par l'Agence aux aspects économiques de la question, ainsi que de deux documents détaillés dont l'un passait en revue les prix de revient actuels de l'énergie d'origine nucléaire et l'autre contenait des données techniques et économiques sur plusieurs réacteurs de petite et moyenne puissance aux Etats-Unis. La Conférence a également pris connaissance d'un rapport sur les prix de revient de l'énergie d'origine nucléaire mis au point avec la collaboration d'un groupe d'experts réuni par l'Agence; un article a été consacré à ce rapport dans le Bulletin de juillet 1961.

Prix de revient

Le document contenant les données les plus récentes sur les prix de revient de l'énergie d'origine nucléaire est une version révisée du rapport qui avait été présenté sur ce sujet à la Conférence générale lors de sa quatrième session ordinaire (1960). Cette version contient de nombreux renseignements nouveaux sur les éléments du coût du combustible et sur les réacteurs de faible puissance pouvant convenir particulièrement aux pays sous-développés.

Les données sur les prix de revient proviennent de six pays : Etats-Unis, Royaume-Uni, France, Canada, Japon et République fédérale d'Allemagne. Elles sont fondées sur l'état actuel des études et de la technologie et sont présentées d'une manière uniforme pour faciliter les comparaisons.

Si depuis l'année dernière, souligne-t-on dans le rapport, on a pu éliminer certaines des inconnues qui restreignent l'applicabilité des données particulières sur les prix de revient de l'énergie d'origine nucléaire, il n'en reste pas moins qu'étant donné l'apparition relativement récente de cette forme d'énergie, on ne possède pas encore une expérience étendue et qu'en conséquence il a fallu procéder par extrapolation pour obtenir une bonne partie des données techniques et économiques dont on dispose. Les chiffres cités peuvent donc être appelés à subir

des modifications sensibles à mesure que la technologie progressera. De plus, les méthodes de calcul du prix de revient diffèrent considérablement d'un pays à l'autre. Enfin, il ne suffit pas toujours d'appliquer les taux de change officiels pour obtenir une comparaison valable des coûts de construction dans les différents pays; le fait qu'un pays est, ou n'est pas, en mesure de fabriquer lui-même la totalité ou une partie des éléments constitutifs des centrales nucléaires peut avoir d'importantes incidences économiques.

D'après les évaluations actuelles, on pense qu'au Royaume-Uni l'énergie d'origine nucléaire produite au moyen de grands réacteurs refroidis par un gaz pourra probablement concurrencer l'énergie classique dans cinq ans environ. Si certaines hypothèses se réalisent, on prévoit qu'aux Etats-Unis l'énergie produite par les grandes centrales nucléaires qui seront construites vers la fin de la décennie pourra concurrencer l'énergie thermique classique dans les régions où le coût du combustible classique est relativement élevé.

Quant aux perspectives d'avenir, on doit s'attendre que les recherches et études qui ne cessent de se poursuivre entraîneront de notables diminutions des prix de revient. La réduction du coût des cycles de combustible sera particulièrement importante. On pense également réaliser des économies appréciables en améliorant les matières pour réacteurs, en normalisant les éléments des réacteurs, en simplifiant les mesures de sécurité et aussi lorsque l'on pourra répartir les dépenses de mise au point technologique grâce à la construction à plus grande échelle de plusieurs centrales semblables.

Réacteurs de petite puissance aux Etats-Unis

Des membres du personnel technique de l'Agence ont rédigé un rapport sur des projets de réacteurs de petite puissance mis en oeuvre aux Etats-Unis. Ils se sont rendus plusieurs fois sur les chantiers de construction, se sont entretenus avec les fonctionnaires et spécialistes travaillant à l'exécution des projets et ont étudié toute la documentation disponible sur les aspects techniques, économiques et administratifs des travaux. Cette activité faisait suite à une offre des Etats-Unis invitant l'Agence à faire participer des membres de son personnel technique à l'étude, à la construction, au démarrage et à l'exploitation d'un réacteur à eau sous pression d'une puissance de 20 MW, ainsi qu'à d'autres projets analogues entrepris sur leur territoire. A la suite de pourparlers ultérieurs, il est apparu qu'il serait plus avantageux pour l'Agence de suivre les phases essentielles de

la construction de plusieurs réacteurs de puissance aux Etats-Unis; le Gouvernement de ce pays a donc élargi son offre initiale, de manière à permettre au personnel de l'Agence de recueillir une documentation complète sur plusieurs autres projets de petits réacteurs exécutés dans le cadre du "Programme de démonstrations de réacteurs de puissance" de la Commission de l'énergie atomique des Etats-Unis.

Le rapport des experts de l'AIEA porte essentiellement sur quatre projets et décrit succinctement l'état d'avancement de quelques autres. D'autres rapports seront éventuellement publiés au fur et à mesure que les travaux progresseront. Les données recueillies seront ainsi mises à la disposition de tous les Etats Membres de l'Agence.

Le rapport contient des renseignements détaillés sur les quatre réacteurs suivants :

1) Le réacteur à eau bouillante d'Elk River (Minnesota).

(Ce réacteur aura une puissance thermique de 58 MW, auxquels il faut ajouter 14 MW fournis par un surchauffeur au charbon, ce qui donnera une production nette d'électricité de 22 MW. L'innovation que comporte ce réacteur est l'emploi d'un mélange de thorium et d'uranium comme combustible.)

2) Le réacteur à ralentisseur organique de Piqua, situé sur la rive orientale du Miami.

(Ce réacteur, d'une puissance de 11,4 MW (électriques), alimentera en vapeur une turbine de la centrale municipale de Piqua; il sera le premier réacteur de puissance à ralentisseur organique exploité commercialement, et servira de prototype à une centrale nucléaire d'importance moyenne.)

3) Le réacteur à eau bouillante BONUS de Porto-Rico.

(Ce réacteur, dont la puissance électrique nette sera de 16,3 MW, est en construction à l'extrémité occidentale de Porto-Rico, dans le cadre du programme établi par la Commission de l'énergie atomique des Etats-Unis pour faire la preuve que la surchauffe nucléaire intégrale est techniquement et économiquement réalisable.)

4) Le réacteur à eau bouillante Pathfinder, situé sur la rive méridionale du Big Sioux.

(Ce réacteur, dont la puissance électrique nette sera de 62 MW, est destiné à montrer que la surchauffe nucléaire intégrale est techniquement et économiquement réalisable dans une centrale électrique. Ce sera le premier modèle en vraie grandeur de réacteur de puissance à surchauffe.)

Les auteurs du rapport soulignent que les projets de petits réacteurs de puissance mis en oeuvre aux Etats-Unis ont deux objectifs principaux. Ce sont des installations expérimentales, qui, à ce titre, fournissent les données techniques de base nécessaires à la construction de grandes centrales nucléaires; ce sont en outre des producteurs d'énergie conçus pour des niveaux de puissance peu

élevés, grâce auxquels on pourra déterminer dans quelle mesure les centrales nucléaires seront à même de soutenir la concurrence des centrales classiques dans les régions où le coût des combustibles fossiles est élevé.

En ce qui concerne le premier objectif, les auteurs font observer qu'avant de construire une grande centrale nucléaire, il est utile de construire un petit prototype ou un réacteur expérimental pour obtenir les données indispensables sur les caractéristiques de conception et de fonctionnement. Toutefois, les petits réacteurs ne sont pas toujours simplement destinés à servir de prototype à des réacteurs plus grands. Il existe aux Etats-Unis un grand nombre de petites sociétés de distribution d'électricité qui ont besoin de petites centrales et les coopératives rurales des Etats-Unis présentent plusieurs points communs avec les sociétés de distribution de certains pays sous-développés, dans la mesure où les unes et les autres ont besoin de centrales de petite puissance, fonctionnant sous un facteur de charge peu élevé et n'exigeant que des investissements réduits. Il semble que l'expérience acquise aux Etats-Unis dans le domaine des réacteurs de petite puissance, tant en ce qui concerne leurs aspects techniques que leurs aspects économiques, présenterait beaucoup d'intérêt pour les pays sous-développés où le coût élevé des combustibles classiques permet d'envisager l'installation de petites centrales nucléaires.

Vers une baisse du prix de revient

A la Commission du programme, des questions techniques et du budget de la Conférence générale, M. Pierre Balligand, Directeur général adjoint chargé des opérations techniques, a indiqué que les renseignements que l'on possède à l'heure actuelle révèlent une tendance encourageante vers une baisse du prix de l'énergie d'origine nucléaire. Il est vrai que le prix de revient des réacteurs a souvent dépassé les prévisions, mais leur rendement a été, lui aussi, supérieur aux prévisions. Pour certains types connus de réacteurs, les sociétés commerciales sont maintenant en mesure de donner des prix fermes. On a récemment annoncé que le prix de revient de l'énergie d'origine nucléaire produite par des réacteurs à eau bouillante de 300 à 400 MW concurrencera bientôt celui de l'énergie classique. M. Balligand a également signalé que les prévisions d'une baisse du prix de l'uranium s'étaient vérifiées; la Commission de l'énergie atomique des Etats-Unis avait réduit ses prix et on s'attendait à ce que les frais de fabrication des cartouches de combustible diminuent également à la suite de l'application de méthodes de production en masse. Le rendement thermodynamique n'a pas encore atteint sa valeur maximum, mais un traitement plus adéquat et les recherches auxquelles on procède actuellement sur les dispositifs de surchauffe donneront certainement des résultats meilleurs. Pour un nouveau type de réacteur refroidi au sodium, actuellement à l'étude, on prévoit une augmentation de rendement de 40 %.

Les progrès ultérieurs dépendent d'une amélioration des méthodes industrielles dans les pays avancés.

Les délégués qui ont pris part à la discussion ont décrit l'expérience qu'on a déjà pu acquérir dans leur pays.

Le délégué du Royaume-Uni a signalé que, dans son pays, les dépenses d'investissement pour les centrales nucléaires civiles refroidies par un gaz et ralenties au graphite avaient très fortement diminué. Deux de ces centrales, d'une puissance de 300 MW et d'un prix de revient de 160 livres sterling par kW, venaient d'entrer en service; des offres avaient été acceptées pour la construction de centrales d'une puissance double, dont le prix de revient prévu était tombé à environ 100 livres sterling par kW. Selon le délégué du Royaume-Uni, on s'attend également à une baisse du coût du combustible. L'étude publiée par l'AIEA laisse prévoir que, dans le Royaume-Uni, l'énergie d'origine nucléaire pourra peut-être concurrencer l'énergie classique vers 1966. Toutefois, des renseignements plus récents sembleraient indiquer que cette évolution ne se produira pas avant 1970.

Le délégué du Canada a dit que son pays avait surtout concentré ses efforts sur un dispositif qui utilise l'eau lourde à la fois comme ralentisseur et comme refroidisseur et l'uranium naturel comme combustible. Un prototype de centrale nucléaire de 20 MW répondant à ces caractéristiques doit entrer en fonctionnement d'ici peu de temps; d'autre part, la construction d'une centrale de ce type, d'une puissance de 200 MW, est en cours à Douglas Point (Ontario). On pense que cette installation produira du courant à raison de 6 à 7 mills le kWh, dans les conditions habituelles de fonctionnement des centrales canadiennes, conditions qui seront réalisées à partir de 1964. Cela montrerait qu'il est possible de produire de l'énergie d'origine nucléaire à des prix concurrentiels, même dans un pays comme le Canada où la population est relativement peu nombreuse et où le coût de l'électricité classique est généralement considéré comme bas.

Le délégué des Etats-Unis a fait ressortir que, si plusieurs pays avaient différé l'exécution de leurs programmes d'énergie d'origine nucléaire, il n'en paraissait pas moins certain que cette énergie apporterait un appoint important et sans cesse croissant aux sources classiques d'énergie. Une telle évolution se produirait vraisemblablement vers 1970 ou 1980 aux Etats-Unis, mais elle interviendrait beaucoup plus tôt dans certaines autres régions du monde. Les efforts se poursuivent pour réduire encore le prix de revient de l'énergie d'origine nucléaire; on invente des modèles de réacteurs nouveaux, on perfectionne les modèles existants et on ne ménage aucun effort pour faire progresser la technologie, la métallurgie, etc. Le Gouvernement des Etats-Unis est prêt à accueillir un certain nombre de stagiaires qui recevraient, aux frais de l'Agence, une formation en cours d'emploi dans le domaine de la construction et de l'exploitation de réacteurs de faible et de moyenne puissance.

Le délégué de la Tchécoslovaquie a donné un aperçu des progrès que son pays avait réalisés dans la construction d'une centrale nucléaire d'une puissance nominale de 150 MW, qui servirait à des fins de démonstration. Cette centrale comporterait un réacteur à uranium naturel, ralenti à l'eau lourde et refroidi par du gaz carbonique. La production de chaleur spécifique (20 kW par kilogramme de combustible) serait comparable à celle des réacteurs ralentis et refroidis à l'eau lourde, mais l'emploi d'un réfrigérant gazeux permettrait d'utiliser des matériaux bon marché pour le gainage des cartouches de combustible et pour le montage des circuits primaires. Bien que les données relatives au coût de construction ne puissent pas être considérées comme caractéristiques, il est souhaitable qu'elles soient confirmées par l'expérience, surtout en ce qui concerne le rendement du combustible.

Etudes nationales

Il ressort des débats de la Commission que plusieurs autres pays envisagent aussi l'établissement de programmes d'énergie d'origine nucléaire et qu'un nombre appréciable d'études nationales sur les perspectives de cette forme d'énergie ont été entreprises ou menées à bien.

Le délégué des Philippines a été heureux de constater que l'Agence avait aidé deux pays, dont le sien, à évaluer les perspectives de la production d'énergie d'origine nucléaire. A son avis, il est encourageant de noter que les vues préliminaires du Gouvernement philippin ont été corroborées par la mission d'enquête de l'Agence, qui a indiqué, dans son rapport, qu'une centrale nucléaire installée dans la région de Manille en 1967-68 pourrait, si l'on considère sa période totale d'utilisation, soutenir la concurrence d'une centrale à mazout de la même importance.

Le délégué de la Finlande a dit que l'étude faite conjointement par l'Agence et par des experts finlandais sur les perspectives de l'énergie d'origine nucléaire en Finlande avait été très profitable; il a exprimé l'espoir que l'étude serait utile à d'autres Etats Membres qui ont des problèmes analogues à résoudre.

Le délégué du Pakistan a déclaré que son Gouvernement avait demandé à une firme d'ingénieurs-conseils des Etats-Unis d'étudier la situation; le rapport de ces ingénieurs serait communiqué à l'Agence, qui pourra l'examiner et donner des avis et une assistance technique.

Le délégué de l'Afrique du Sud a signalé qu'une étude avait été récemment entreprise dans son pays. Il a ajouté que chaque pays devait procéder à une étude rationnelle des conditions locales; grâce aux renseignements de base fournis par ces études nationales, les données recueillies par l'Agence pourraient être plus facilement confrontées avec la situation spécifique d'un pays déterminé.

Le délégué de la Corée a déclaré que l'utilisation de l'énergie nucléaire semblait devoir offrir la seule solution possible aux problèmes qui se poseront dans son pays; on espère y installer d'ici 1970 une centrale nucléaire de moyenne puissance.

Le délégué de la Yougoslavie a indiqué que les études entreprises dans son pays sur les conséquences de l'introduction de centrales nucléaires dans le réseau électrique avaient conduit à la conclusion qu'il était nécessaire de modifier l'emploi des sources classiques d'énergie. On étudie également les incidences de différents cycles de combustible et de divers types de réacteurs sur l'économie nationale; il faut, de toute évidence, examiner un grand nombre de problèmes avant de pouvoir mettre au point une politique de développement de l'énergie nucléaire.

Le délégué de la Pologne a fait observer que, si la Pologne dispose encore de réserves suffisantes de combustible classique, le Gouvernement polonais n'estime pas moins que dans un avenir assez proche les centrales nucléaires pourront être exploitées dans des conditions rentables.

Rôle de certains facteurs économiques

Le délégué de l'Australie a fait ressortir que le prix de revient de l'électricité aux bornes de la centrale, qui ne constitue qu'une fraction du prix à la consommation, n'est pas le seul facteur qui intervienne dans le coût de l'énergie. En effet, il faut également tenir compte des frais de distribution et des dépenses d'administration.

Le délégué de l'Inde a fait observer qu'il convenait de ne pas accorder une importance exagérée aux facteurs qui tendent à s'opposer à la rentabilité de l'énergie d'origine nucléaire dans les régions sous-développées. Il a souligné que les taux de salaires peu élevés appliqués dans ces régions contribuaient beaucoup à réduire les frais d'exploitation et d'entretien. Quant aux investissements que suppose tout programme d'énergie d'origine nucléaire, le délégué de l'Inde a dit qu'il ne fallait pas oublier ceux qu'exigerait une production accrue de combustibles classiques et leur transport jusqu'aux régions éloignées. Si un pays est obligé d'importer du combustible de toute façon, le fait que le coût du combustible nucléaire serait moins élevé lui permettrait de réaliser une économie de devises étrangères, qui pourrait compenser la ponction initiale opérée sur les réserves de devises pour l'installation d'une centrale nucléaire.

Le délégué de la République fédérale d'Allemagne a dit qu'il était difficile de comparer les données relatives au prix de revient, lorsqu'elles provenaient de sources différentes; à son avis, l'Agence devrait s'efforcer avant tout, non pas d'élaborer de nouvelles méthodes d'évaluation des prix de revient, mais de normaliser les méthodes connues. Le délégué de l'Argentine a demandé que l'Agence poursuive ses études sur le coût de l'éner-

gie en rassemblant des données sur les prix de revient effectifs. Le délégué de la France a dit que son pays avait communiqué à l'Agence des renseignements sur le coût de construction et qu'il pourrait bientôt lui en fournir sur les frais d'exploitation.

Coopération internationale

Tous les délégués qui ont pris part à la discussion ont insisté sur l'intérêt que présentent les études entreprises par l'Agence. Plusieurs ont insisté pour que l'Agence joue désormais, dans le domaine de l'énergie d'origine nucléaire, un rôle encore plus actif qu'elle ne l'a fait jusqu'ici. Une proposition concrète de coopération internationale pour la création d'entreprises d'énergie d'origine nucléaire a été présentée sous la forme d'un projet de résolution déposé conjointement par neuf pays (Brésil, Finlande, Ghana, Inde, Indonésie, Irak, Pakistan, République Arabe Unie et Yougoslavie). La résolution, qui a été approuvée par la Commission, puis adoptée par la Conférence générale en séance plénière, rappelle les dispositions du Statut de l'Agence concernant le développement de l'énergie d'origine nucléaire, souligne l'importance que revêt le développement des ressources énergétiques et insiste sur le peu de ressources en énergie classique que possèdent certains pays en voie de développement et sur la possibilité qui s'offre, grâce aux progrès techniques, de produire vraisemblablement à brève échéance de l'énergie d'origine nucléaire dans des conditions rentables. La résolution invite ensuite le Conseil des gouverneurs et le Directeur général de l'Agence :

- a) A fournir, sur demande, des conseils et instructions techniques aux *Etats Membres désireux* de mettre en oeuvre des programmes d'énergie d'origine nucléaire et à faciliter et organiser la participation directe de techniciens et d'ingénieurs de ces pays à l'étude, à la construction et à l'exploitation de centrales nucléaires,
- b) A donner, sur demande, toute l'assistance possible pour l'exécution des programmes d'énergie d'origine nucléaire de ces Etats,
- c) A examiner l'opportunité de promouvoir la création d'entreprises régionales d'énergie d'origine nucléaire dans le cadre d'une collaboration entre les pays techniquement avancés et les pays en voie de développement des régions intéressées, pour étudier les prix de revient de l'énergie d'origine nucléaire dans les conditions qui existent dans ces régions,
- d) A entreprendre, sur demande, des études sur les problèmes que posent l'élaboration de projets, la construction et l'exploitation de centrales nucléaires internationales de démonstration, et à examiner s'il serait souhaitable de construire des centrales de ce genre,
- e) A faire rapport à la Conférence générale, lors de sa sixième session ordinaire, sur toutes les mesures prises à ce sujet.