

# PROGRES ACCOMPLIS DANS LA PRODUCTION D'ELECTRICITE NUCLEAIRE

## ASPECTS DES PROGRAMMES NATIONAUX DONT IL A ETE FAIT MENTION A LA CONFERENCE GENERALE DE L'AIEA

Au cours de la session de la Conférence générale de l'AIEA, tenue en septembre, il a été fait mention d'un certain nombre de progrès encourageants accomplis par les Etats Membres dans l'exécution de leurs programmes nationaux d'énergie d'origine nucléaire. Le Directeur général, M. Sigvard Eklund, a déclaré au cours de la séance d'ouverture que l'on peut se rendre compte des progrès accomplis dans le domaine de l'énergie d'origine nucléaire, si l'on sait que depuis septembre 1962, onze réacteurs de puissance, d'une puissance nominale de 650 MWe sont entrés en divergence. A l'heure actuelle, 50 réacteurs de ce genre, totalisant une puissance nominale de 2 800 MWe, sont en service dans dix Etats Membres. De plus, 35 autres centrales nucléaires totalisant une puissance de 6 900 MWe sont en construction, ce qui à la fin de 1968, portera à 10 000 MWe la puissance totale des centrales nucléaires en service dans le monde.

Le Directeur général adjoint chargé des opérations techniques, M. P. Balligand, a dit : "La Conférence sur l'expérience pratique du fonctionnement des réacteurs de puissance, qui s'est tenue en juin 1963, a passé en revue les enseignements que l'on peut d'ores et déjà tirer des quelque 20 centrales nucléaires actuellement en fonctionnement effectif. Les conclusions de la Conférence ont été extrêmement encourageantes. Les parties nucléaires des installations ne donnent lieu à aucun ennui et les facteurs d'utilisation sont extrêmement élevés, au-dessus de 90 % dans bon nombre de cas. La sécurité a été excellente. La puissance nominale de plusieurs a pu être augmentée sans modification majeure des installations, ce qui a permis de réduire considérablement après coup le prix de revient du kW installé. Les experts ont émis l'avis que les réacteurs des types existants coexisteraient économiquement avec les premières séries de réacteurs surgénérateurs pour une période de temps appréciable".

"On constate actuellement un regain d'optimisme sur les perspectives des centrales nucléaires. Le plus important des éléments qui semblent justifier ces espoirs est le progrès rapide dans le domaine des cycles de combustibles. Les premières estimations du niveau concurrentiel de l'énergie nucléaire peuvent être abaissées de 10 % cette année. L'évolution des coûts de cycles de combustibles dépend de plusieurs variables : prix du minerai d'uranium, taux de combustion, coût de fabrication, coût de traitement chi-

mique, prix de rachat du plutonium ; en outre, on ne peut pas se borner à un examen séparé de chacune de ces composantes et il faut envisager leurs interactions mutuelles. C'est ainsi que le prix du minerai d'uranium, qui risque de rester au niveau de six dollars la livre pendant quelques années, pourrait se relever au moment où le nombre des centrales mises en construction augmentera de façon importante. Les réacteurs seraient alors optimisés de façon différente en changeant par exemple le taux de combustion. De même, un abaissement du prix de rachat du plutonium entraînerait probablement une intensification de l'effort visant à développer des réacteurs surgénérateurs utilisant le plutonium comme combustible. Enfin, les ingénieurs étudient activement des solutions intermédiaires entre les réacteurs à uranium naturel et les réacteurs à uranium enrichi, entre les réacteurs brûleurs et les réacteurs surgénérateurs, et les économistes examinent les perspectives des marchés des différents combustibles nucléaires, selon les différents cycles de combustibles envisagés."

Au cours de la discussion, des délégués à la Conférence générale ont fait les commentaires suivants sur les programmes exécutés dans leurs pays respectifs - l'exposé de ces indications ne constitue naturellement en aucune façon un rapport complet ou équilibré.

### Etats-Unis

Dans un rapport au Président Kennedy, la Commission de l'énergie atomique des Etats-Unis prévoit que l'énergie d'origine nucléaire est si près d'être rentable qu'il suffirait d'un modeste encouragement supplémentaire du Gouvernement pour qu'elle puisse être produite par les services publics en quantité non négligeable dans un proche avenir. Si le programme de génératrices nucléaires de démonstration bénéficierait d'une aide accrue et qu'il soit modifié de manière à donner la priorité aux réacteurs brûleurs et surgénérateurs d'avant-garde, les travaux de la Commission permettront à l'énergie d'origine nucléaire de concurrencer l'énergie classique sur la plus grande partie du territoire des Etats-Unis au cours de la décennie 1970-1980, et aux réacteurs surgénérateurs de devenir rentables au cours de la décennie suivante. On estime ainsi que d'ici la fin du siècle l'énergie d'origine nucléaire permettra de répondre à presque tout l'accroissement de la demande d'électricité et représentera environ la moitié de l'énergie produite dans le pays.

On notera en passant qu'aux Etats-Unis le prix de revient de l'énergie est peu élevé. La Commission note également que six grands réacteurs d'avant-garde fournissent de l'énergie à des réseaux d'interconnexion; sept réacteurs de petite et moyenne puissance seront achevés d'ici la fin de 1967 et plusieurs autres seront alors en construction ou sur le point de l'être. Elle indique que sept ou huit prototypes de réacteurs, dont la moitié environ seront des brûleurs et les autres des surgénérateurs, pourront être construits et mis en service au cours des douze prochaines années. Il se peut que les compagnies d'électricité construisent dix à douze centrales exploitées commercialement. La Commission suggère également que l'on mette au point des réacteurs plus perfectionnés encore, en particulier des surgénérateurs. Le programme dont elle indique les grandes lignes permettra, en coopération avec d'autres pays, de favoriser les progrès technologiques en ce qui concerne les types de réacteurs destinés à satisfaire la demande d'énergie dans le monde entier. Onze prototypes de génératrices nucléaires, d'une puissance globale nette de près de 1 000 MW, fonctionnent aux Etats-Unis et 11 autres d'une puissance nette d'environ 2 800 MW sont en construction ou en projet. Les projets de deux autres réacteurs d'une puissance d'environ 1 000 MW ont été établis et des appels d'offres ont été lancés. La puissance des centrales nucléaires fonctionnant aux Etats-Unis atteindra donc 4 800 MW à la fin de 1968.

### Belgique

L'entreprise Vulcain est actuellement la tâche prioritaire du programme nucléaire belge. Il s'agit d'un réacteur à ralentisseur variable de 20 MW, pouvant être utilisé pour équiper des navires ou des centrales nucléaires. Il offre des perspectives économiques extrêmement intéressantes; il pourrait devenir compétitif avec des installations classiques, même de petite puissance. En effet, le prix du kWh se situerait entre 6 et 7 millièmes de dollar si le réacteur était construit en série.

### Italie

Deux centrales nucléaires ont été mises en service dans le courant de l'année. Le réacteur de la SIMEA, à Latina, est entré en divergence en décembre 1962. Il s'agit d'un réacteur à uranium naturel ralenti au graphite et refroidi à l'anhydride carbonique; six échangeurs de chaleur produisent la vapeur et alimentent trois turbo-alternateurs de 70 MW, qui donneront au réseau 200 MWe nets sous une tension de 150 et de 220 kV. La moitié environ des installations a été fournie par l'industrie italienne, qui a pu ainsi acquérir une expérience précieuse. Cette centrale a commencé à alimenter le réseau le 30 mai 1963. La centrale nucléaire de la SENN, située à l'embouchure du Garigliano, près de Naples, est équipée d'un réacteur de 150 MWe à eau bouillante et à

bioxyde d'uranium enrichi, qui est entré en divergence le 5 juin 1963.

### Pays-Bas

Aux Pays-Bas, l'étude d'un réacteur à suspension aqueuse sera poursuivie. De nombreux autres pays souhaitent se familiariser avec la production d'énergie nucléaire, et les Pays-Bas approuvent entièrement le point de vue de l'Agence selon lequel l'introduction de génératrices nucléaires est maintenant une question d'opportunité. Ce sont des considérations de cet ordre qui ont conduit à la construction aux Pays-Bas d'un petit réacteur de puissance de 50 MWe, qui servira d'installation pilote et pourra être utilisé à des fins expérimentales et pour la formation de spécialistes.

### Union des Républiques socialistes soviétiques

Parmi les succès enregistrés sur le plan des applications pratiques de l'énergie atomique, il faut citer l'expérience acquise grâce à l'exploitation du brise-glace atomique "Lénine". Ce navire a déjà effectué trois campagnes et il a parcouru en trois ans 50 000 milles, une partie importante de ce trajet ayant été effectué dans la banquise. Pendant trois années de suite (1960, 1961 et 1962) les réacteurs ont fonctionné sans rechargement de combustible nucléaire. On a cependant décidé de les recharger avant la quatrième campagne. Pendant les campagnes, tout l'équipement et les machines ont parfaitement fonctionné. Cette année a été également importante pour l'URSS parce qu'elle a vu s'achever les derniers préparatifs de mise en marche de deux grandes centrales nucléaires: l'une d'une puissance de 210 MW et l'autre de 100 MW. Lorsque ces centrales fonctionneront à ces puissances, elles seront agrandies. En outre, on envisage de construire plusieurs autres centrales nucléaires. Il convient de noter également une autre réalisation importante en matière d'équipement énergétique - la construction d'une petite centrale nucléaire d'une puissance totale de 7 à 7,5 MW. Cette centrale présente la particularité d'être composée de plusieurs groupes que l'on peut facilement transporter par chemin de fer, par bateau, par véhicule routier ou par avion. La centrale ainsi construite a déjà été soumise à des essais et toutes ses parties ont fonctionné de façon satisfaisante et sûre. L'Union soviétique construira des centrales de ce genre dans des localités écartées où les besoins énergétiques ne sont pas très grands. Les centrales de ce type peuvent présenter beaucoup d'intérêt pour de nombreux pays.

### Pakistan

Des études sur la rentabilité de l'énergie d'origine nucléaire ont montré qu'en 1968 à Karachi (Pakistan occidental) et à Rooppur (Pakistan oriental) la demande d'énergie justifiera la construction d'une centrale de 132 MW pour la première région et de 70 MW pour la seconde, s'il est possible d'emprunter

à moins de 4 %. Presque toutes les installations de production d'énergie classique qui ont été construites au Pakistan ont été financées par des prêts à faible taux d'intérêt accordés par des pays amis.

## France

Après les réacteurs de Marcoule, la première centrale nucléaire d'Electricité de France a commencé à fournir des kilowatts au réseau; les deux centrales suivantes sont en construction; une quatrième est décidée, toujours dans la filière des réacteurs à uranium naturel, ralentis au graphite et refroidis par un gaz sous pression. Simultanément, on poursuit la mise au point d'un réacteur d'un type analogue, qui utilise l'eau lourde comme ralentisseur. Le premier prototype à neutrons rapides est en cours de construction à Cadarache, en association avec l'EURATOM. De plus, la France participe, dans des entreprises communes, à l'étude et à la réalisation d'autres types de réacteurs.

## Inde

L'exemple de l'Inde montre que l'énergie d'origine nucléaire peut être produite économiquement même dans les pays sous-développés. C'est la conclusion que l'on peut tirer des devis de deux centrales nucléaires et de l'étude du prix de revient de l'électricité produite, qui, dans certaines circonstances, peut être de 10 à 15 % inférieur à celui du courant produit par une centrale classique. Une troisième centrale nucléaire est actuellement en projet et un comité spécial a été chargé d'élaborer un programme de développement énergétique de 15 ans. Il semble probable qu'à partir de 1966 il faudra mettre en chantier une nouvelle centrale nucléaire tous les ans. La centrale nucléaire de Tarapur est actuellement construite par une firme américaine; les Etats-Unis et l'Inde ont conclu à ce sujet un accord bilatéral prévoyant la fourniture d'uranium enrichi pendant toute la durée de vie du réacteur.

## Espagne

L'Espagne entreprend l'étude d'une série d'ouvrages pour la production d'électricité d'origine nucléaire. Elle espère réaliser trois ouvrages dont les projets sont en cours d'élaboration et qui ont trait à trois centrales de 300 MW environ chacune; ces usines seront exploitées par les sociétés privées Hidroeléctrica Española, Empresa Sevillana de Electricidad et Empresa Iberduero, qui s'intéressent à la production d'électricité nucléaire.

## Royaume-Uni

Parmi les progrès importants accomplis au cours de l'année passée, il convient de mentionner l'inauguration officielle, en avril 1963, des centrales nucléaires de Berkeley et de Bradwell, qui avaient déjà fonctionné pendant quelques mois de façon régu-

lière et sûre. Le facteur d'utilisation moyen des quatre réacteurs, calculé en heures de fonctionnement par rapport au nombre d'heures de fonctionnement théoriquement possible, a été de 90 % entre le début de décembre et la fin de mars. Le premier réacteur de la centrale Hunterston est entré en divergence le 14 septembre 1963. Lorsque la centrale Wylfa, qui est la dernière prévue dans le programme actuel, sera terminée en 1969, le Royaume-Uni aura une capacité de production d'énergie d'origine nucléaire de près de 5 000 MW. Le Gouvernement étudie actuellement l'ampleur qu'il convient de donner au programme d'énergie d'origine nucléaire pour les années postérieures à 1968. Les centrales construites en application du programme actuel sont du type Magnox, qui a déjà fait ses preuves. Au cours des douze derniers mois, on a réalisé des progrès assez importants dans la mise au point de nouveaux types de réacteurs. Le prototype perfectionné de réacteur refroidi par un gaz, construit à Windscale, fonctionne à sa pleine puissance nominale de 28 MWe depuis février 1963. Même si l'on s'en tient à des calculs prudents, des centrales commerciales équipées avec ce type de réacteur devraient, au Royaume-Uni, soutenir la concurrence des centrales classiques les plus rentables; d'ailleurs, cette filière peut encore être sensiblement améliorée. Si le réacteur de Windscale continue à fonctionner de façon satisfaisante, et sous réserve des décisions gouvernementales relatives au programme futur, on envisage de lancer dans un proche avenir un appel d'offres pour la construction du premier réacteur commercial perfectionné refroidi par un gaz.

En ce qui concerne les perspectives plus lointaines, le réacteur expérimental à neutrons rapides de Dounreay a atteint sa pleine capacité de 60 MWt en juillet 1963 et permet actuellement de disposer d'une installation d'irradiation pour combustible de réacteur rapide, qui n'a pas actuellement son pareil. On a commencé à construire, en mai 1963, à Windfrith Heath, un prototype de réacteur à eau lourde générateur de vapeur, d'une puissance de 100 MWe. L'accord relatif à l'entreprise Dragon, de l'Agence européenne pour l'énergie nucléaire, comprenant la construction d'un réacteur à haute température refroidi par un gaz, a été prorogé pour une période de trois ans; on compte que ce réacteur commencera à fonctionner au cours de l'été 1964. Le Gouvernement consulte actuellement les compagnies de navigation maritime et les chantiers navals sur la possibilité de construire le premier navire marchand nucléaire britannique. Dans le domaine des réacteurs marins, le Royaume-Uni s'est surtout intéressé au cours de cette année, tout en tenant compte d'autres possibilités, à l'entreprise Vulcain (en collaboration avec la Belgique) qui est fondée sur la mise au point d'un réacteur à surchauffe nucléaire intégrée.

## Suède

Les problèmes techniques complexes que pose l'intégration de centrales nucléaires dans un réseau

d'interconnexion ont été étudiés avec soin. L'utilisation simultanée d'énergie hydroélectrique et d'énergie d'origine nucléaire offre de grands avantages économiques et on présume qu'à partir de 1970 la plus grande partie de la nouvelle demande d'énergie devra être satisfaite par l'installation de centrales nucléaires représentant une puissance de quelque 4 000 MW. La centrale d'Agesta a divergé le 17 juillet 1963; elle fournit de l'énergie électrique et de l'eau chaude pour le chauffage urbain; cependant les études montrent qu'en matière de chauffage urbain, l'énergie d'origine nucléaire ne peut pas encore soutenir la concurrence des combustibles classiques. Il est fort possible que les importants travaux qui sont actuellement en cours pour mettre au point des réacteurs plus petits modifient cette situation mais, d'autre part, la production d'énergie électrique bon marché à l'aide de grands réacteurs de puissance peut augmenter l'intérêt du chauffage domestique à l'électricité. Le premier grand réacteur de puissance suédois - le réacteur à eau lourde de Marviken, d'une puissance maximum de 200 MW - est maintenant en construction. A l'heure actuelle, on étudie en Suède de très grands réacteurs ayant une puissance d'environ 1 000 MW électriques, pour explorer les possibilités offertes par une filière à eau lourde.

### **Canada**

La première petite centrale nucléaire d'une

puissance de 20 MW construite au Canada, a donné de très bons résultats. Elle est en service depuis près d'un an et a fonctionné pendant 78 % du temps. Quelques difficultés mineures se sont produites, comme par exemple une petite fuite d'eau lourde. La plus importante a été la défaillance d'une génératrice Diesel, qui est restée en panne pendant 50% du temps. L'emploi de l'aspersion comme dispositif de sécurité a donné de très bons résultats. La construction du réacteur CANDU d'une puissance de 200 MW sera terminée en 1964 et son prix de revient sera un peu moindre que prévu. On se propose de construire également une centrale de 2 000 MW se composant de quatre réacteurs de type CANDU de 500 MW chacun. La construction d'une centrale à eau lourde va commencer incessamment. L'eau lourde fabriquée au Canada pour l'exportation et les besoins du pays sera vendue au prix de 20 dollars la livre. Le programme canadien, qui est plus modeste que ceux du Royaume-Uni et des Etats-Unis, prévoit la construction d'un seul type de centrale utilisant de l'eau lourde comme ralentisseur. Une centrale de démonstration, qui utilisera des refroidisseurs organiques, sera mise en service en 1965. On procède également à une étude minutieuse de l'emploi éventuel d'autres refroidisseurs, comme par exemple l'eau légère sous forme de vapeur, qui présenteront des avantages considérables dans les réacteurs à eau lourde et à tube sous pression.