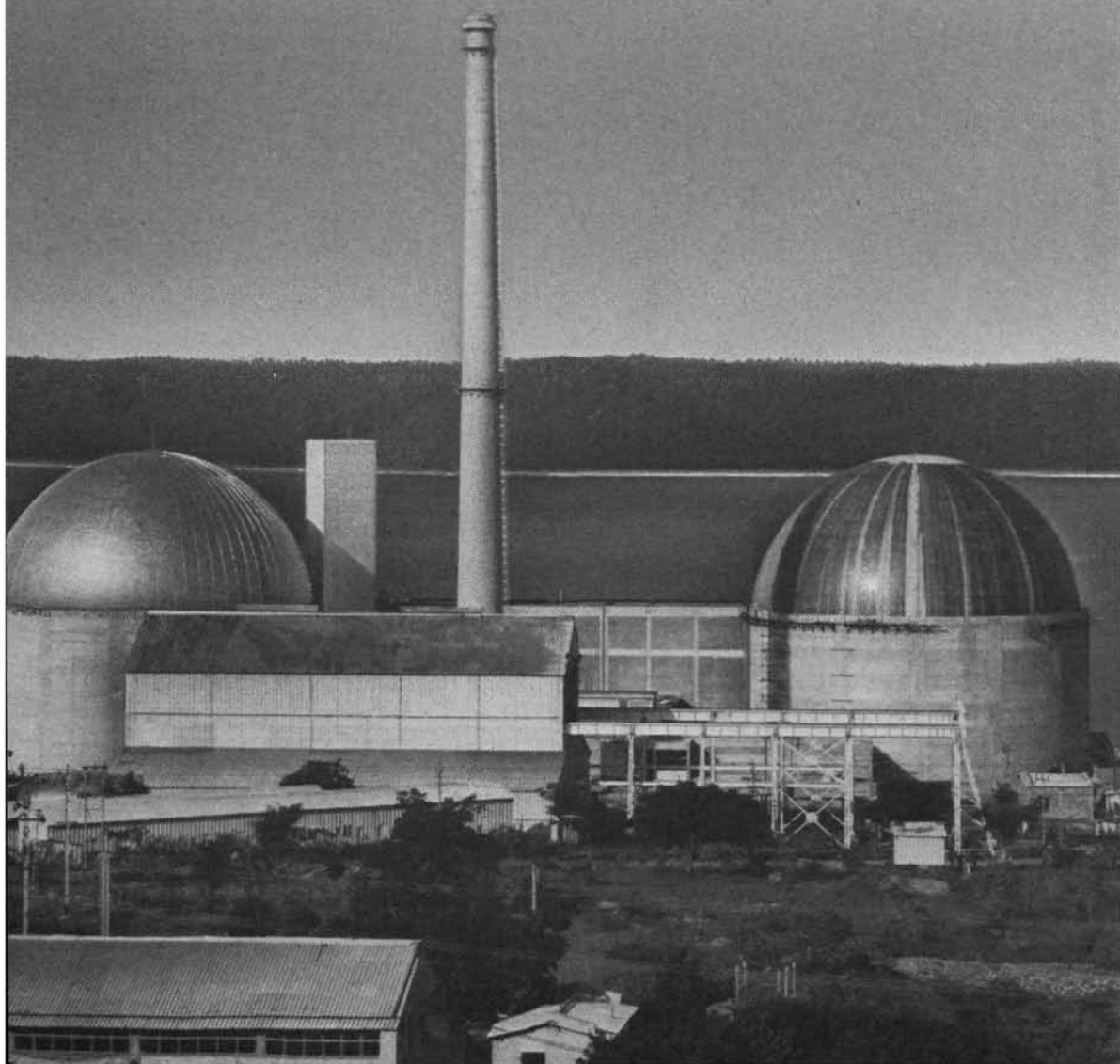


INDE



REALISATIONS ET PERSPECTIVES

par H.N. Sethna, Président de la Commission indienne de l'énergie atomique

C'est un truisme de dire que l'énergie est la clé du progrès de l'homme. Cela a été amplement confirmé par l'expérience des derniers siècles, particulièrement depuis la révolution industrielle. La recherche du progrès a inévitablement accentué la demande d'énergie, laquelle, à son tour, a obligé l'homme à prospecter et à s'efforcer de mettre en valeur toutes les ressources existantes. Pendant des siècles, l'énergie était essentiellement extraite des combustibles fossiles, mais le 2 décembre 1942 une source absolument nouvelle fit son apparition lorsque l'homme apprit à dompter l'atome. En ce jour du trentième anniversaire de cet événement historique, il convient de s'interroger sur la mesure dans laquelle les promesses de l'énergie atomique ont été tenues et sur les perspectives d'avenir.

L'un des faits remarquables en ce qui concerne la domestication de l'énergie atomique est qu'elle a été réalisée seulement trois ans après la découverte du phénomène de base de la fission. En réalité, ce cas d'une découverte fondamentale qui reçoit aussi rapidement une application pratique importante est sans précédent. La preuve qu'il était possible de libérer l'énergie atomique de manière contrôlée, ainsi que la prise de conscience des nombreuses possibilités qu'elle offrait, ont naturellement suscité un grand intérêt pour cette forme d'énergie au cours de l'après-guerre, alors que l'humanité entreprenait la reconstruction pour effacer la trace des ravages de la guerre.

De nombreux pays du monde, appartenant à des régions tant développées qu'en voie de développement, ont entrepris des programmes d'énergie nucléaire. Dans presque tous les cas, l'évolution du programme a été influencée par divers facteurs d'ordre économique, politique et social. Toutefois, l'influence de ces facteurs a naturellement eu tendance à varier d'un pays à l'autre. C'est ainsi que ceux parmi les pays avancés qui exécutaient un programme d'armement ont fait porter leurs travaux sur les réacteurs à uranium enrichi, essentiellement du fait qu'ils disposaient de ^{235}U dont le coût de production initial était en grande partie absorbé par un programme militaire. Par ailleurs, d'autres pays qui n'avaient pas de programme d'armement nucléaire, ou seulement un programme limité, ont fondé leurs plans sur l'utilisation de l'uranium naturel. Dans certains cas, il semble que les programmes d'énergie nucléaire aient été dictés non pas tellement par une pénurie imminente de combustible fossile, mais essentiellement par la nécessité de se maintenir à la pointe de la technologie et de ne pas perdre de marchés potentiels ailleurs. Plus récemment, le fait que le public en général soit devenu plus conscient des problèmes écologiques a également commencé à jouer un rôle. Des facteurs économiques, politiques et sociaux ont également influé sur les programmes des pays en voie de développement, bien que les effets combinés de ces facteurs aient été très différents de ce qu'ils étaient dans le cas des pays avancés.

Le programme d'énergie atomique de l'Inde a maintenant près de vingt ans. Il constitue en quelque sorte une expérience unique en matière de développement d'une technologie de pointe, sur une vaste échelle, dans un pays en voie de développement.

Le premier problème a été de convaincre les planificateurs indiens qu'un programme d'énergie nucléaire avait un sens et s'inscrivait bien dans le contexte des plans de développement du pays. Il a fallu tenir compte d'une part des maigres ressources financières et, d'autre part, du retard industriel relatif. Toutefois, grâce au dynamisme du premier président de la Commission indienne de l'énergie atomique, M. Homi Bhabha, et à la compréhension bienveillante qu'il trouva auprès du premier ministre, Jawaharlal Nehru, il fut bientôt possible de convaincre les administrateurs et les politiciens que l'énergie atomique était nécessaire et

même économique. Parlant de l'opportunité de recourir à l'énergie atomique, Jawaharlal Nehru fit une fois la remarque suivante: «Si vous avez une idée de l'avenir de l'Inde que vous vous efforcez de construire et de l'énergie dont vous avez besoin vous parviendrez à la conclusion qu'il est inévitable que nous exploitions de l'énergie atomique à des fins pacifiques». S'étant acquis l'appui du Gouvernement, la Commission de l'énergie atomique formula avec le plus grand soin une stratégie du développement de l'énergie atomique. La production d'énergie d'origine nucléaire a été l'un des principaux objectifs du programme indien d'énergétique atomique.

L'une des premières tâches a consisté à établir une base technologique solide pour les diverses activités entrant dans le développement de l'énergie atomique. Un centre de recherche national, d'abord dénommé «Etablissement de l'énergie atomique de Trombay», puis «Centre Bhabha d'études atomiques» fut créé à Trombay, près de Bombay, et l'on y entreprit une grande variété d'activités portant sur la recherche et le développement, depuis des études fondamentales en physique nucléaire et physique de l'état solide jusqu'à des recherches en métallurgie, technologie, radioprotection et médecine nucléaire. Si on les considère particulièrement dans le contexte indien, les réalisations du Centre ont été considérables. Il a non seulement formé des spécialistes capables d'étudier, de mettre au point et de construire des réacteurs de puissance, mais il a également joué un rôle essentiel lorsqu'il s'est agi d'introduire dans l'industrie les techniques permettant de fabriquer tous les composants complexes de ces réacteurs. Il a également fallu mettre au point des procédés pour la fabrication et le retraitement du combustible nucléaire et pour la production de matières combustibles et autres matières spéciales telles que les zircaloyes et l'eau lourde. Pour un pays en voie de développement, il est particulièrement important de parvenir à se suffire à soi-même dans tous les domaines de la technologie nucléaire, afin que la mise en œuvre d'un programme d'énergétique nucléaire d'assez grande envergure n'entraîne pas une situation trop défavorable du point de la balance des paiements.

Sur la base de l'expérience acquise au Centre Bhabha, il a été possible de créer de nouveaux centres de production dont les activités sont consacrées à des aspects particuliers de la technologie nucléaire. La Société indienne d'électronique et le Complexe des combustibles nucléaires en sont deux exemples. Un autre centre de pointe important sera le centre d'études de réacteurs, situé à Kalpakkam près de Madras, qui s'occupera de la mise au point de la technologie des réacteurs à neutrons rapides.

L'Inde n'était pas dépourvue de moyens scientifiques lors de la mise en œuvre du programme d'énergétique atomique mais la science n'était pas encore bien organisée. Abstraction faite de la chaîne de laboratoires nationaux créés par le Conseil de la recherche scientifique et industrielle dans les années qui suivirent l'indépendance, le programme d'énergétique atomique était le seul à bénéficier d'un effort scientifique intense et organisé. Comme on manquait encore des spécialistes nécessaires, on entreprit au Centre atomique Bhabha un programme de formation à l'intention de diplômés frais émoulus des universités, afin de les orienter vers le programme d'énergie atomique. Il n'est donc pas surprenant que l'école des études atomiques mette l'accent sur la confiance en soi et sur la nécessité de travailler en équipe pour se familiariser avec la technologie. Ce programme de formation a été extrêmement payant et la plupart des scientifiques et des ingénieurs qui travaillent pour le programme d'énergie atomique, que ce soit au Centre Bhabha ou dans les centrales en construction au Rajasthan et à Madras, sont diplômés de l'école du Centre. On est donc bien obligé de conclure que la formation de spécialistes doit faire partie intégrante des programmes d'énergétique nucléaire des pays en voie de développement et y tenir une grande place. La situation est différente de ce qu'elle est dans les pays avancés qui disposent déjà du personnel qualifié, qu'il suffit au plus de légèrement réorienter pour l'adapter aux travaux atomiques.

Lorsque le Centre de Trombay commença à se développer, il devint évident que l'on pouvait envisager avec confiance la création d'une base de technologie nucléaire et la formation de spécialistes nécessaires pour entreprendre un grand programme d'énergétique. En conséquence, la Commission de l'énergie atomique présenta en 1960 à la Commission de planification ses premières propositions concrètes en vue de la construction de centrales nucléaires en Inde. Ces propositions portaient du principe que l'énergie d'origine nucléaire était indispensable même à cette époque pour approvisionner en énergie à bon marché de grandes régions du pays et qu'il s'agissait de la seule source importante d'énergie sur laquelle le pays pourrait finalement compter au tournant du siècle. En particulier, on avait calculé que, même en 1960, l'énergie d'origine nucléaire soutiendrait la concurrence de l'énergie produite dans des centrales thermiques situées à plus de 800 km des houillères. Etant donné que ces dernières se trouvent principalement dans le Bihar et que plus de 35% de la superficie du pays et plus de 30% de sa population se trouvent au delà de ce rayon de 800 km les centrales nucléaires dotées seulement d'unités de 200 MW(e) permettraient de répondre de manière rentable à la demande en énergie des régions très éloignées des houillères.

Pour reprendre les termes du mémorandum présenté par Bhabha à la Commission de planification, «la plus grande partie de la puissance nucléaire sera installée dans des centrales à l'uranium naturel qui ont le double avantage de produire d'une part de l'énergie et d'autre part du plutonium. Ce plutonium est un combustible concentré qui ne se trouve pas sur le marché international et sa production est essentielle pour permettre au pays de créer des centrales à surgénérateurs utilisant le thorium ou l'uranium appauvri pour la deuxième tranche de son programme d'énergétique nucléaire. En outre, les investissements pour ce type de centrale seront beaucoup moindres que pour les centrales actuelles et il semble

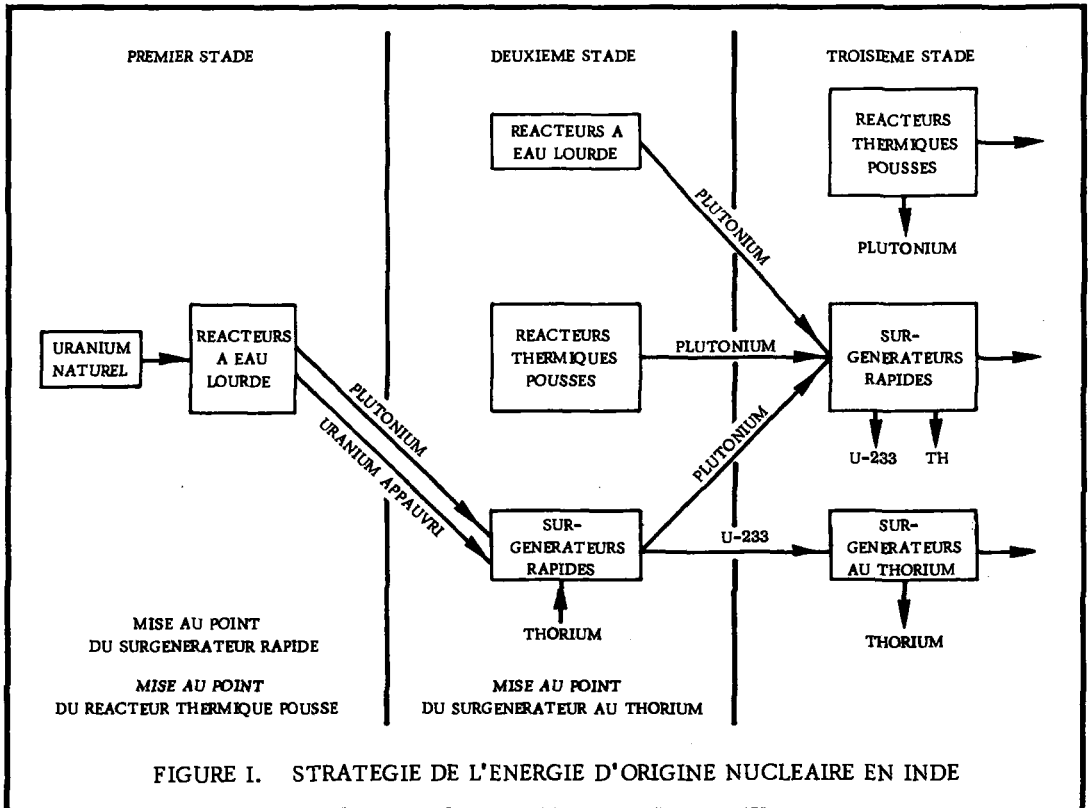
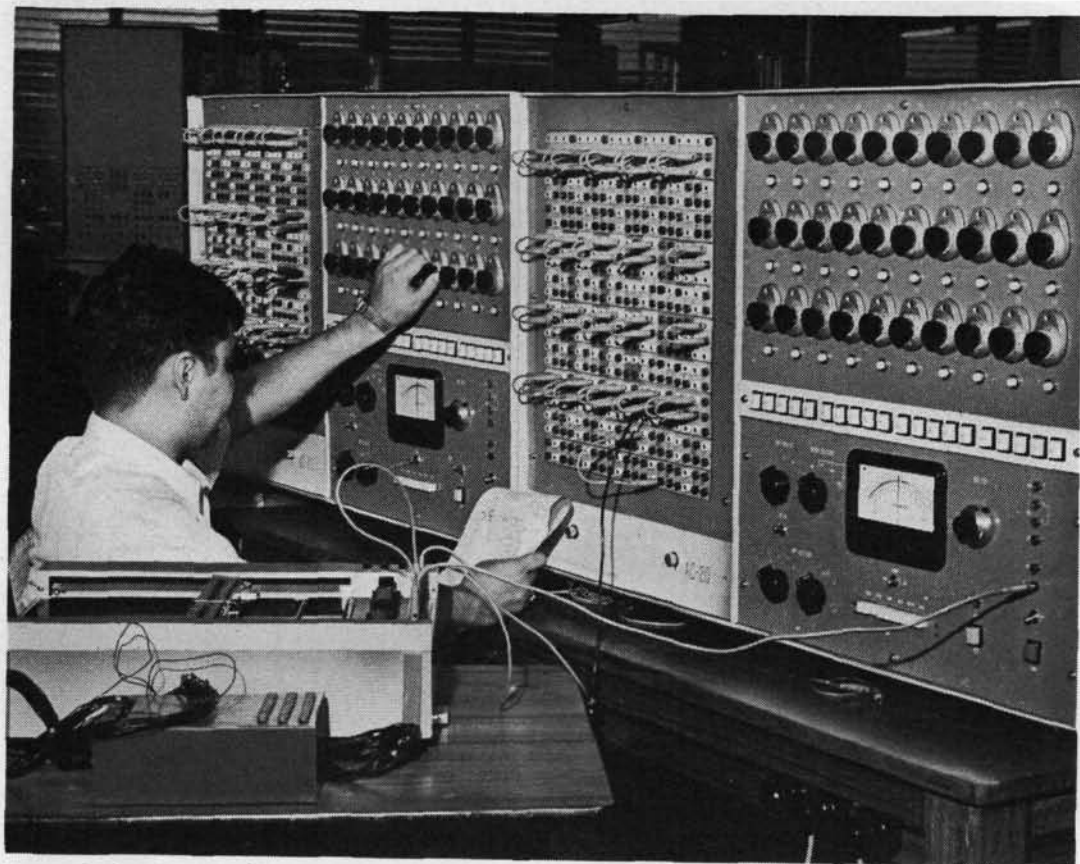


FIGURE I. STRATEGIE DE L'ENERGIE D'ORIGINE NUCLEAIRE EN INDE



Une calculatrice numérique fabriquée par l'Electronics Corporation of India Ltd., à Hyderabad

même que l'énergie produite par ces centrales pourrait soutenir la concurrence des centrales thermiques classiques situées à proximité des houillères. L'Inde ne pourra ultérieurement tirer profit de ce progrès que si des mesures sont prises dès maintenant pour créer des centrales produisant du plutonium».

La stratégie de l'énergie d'origine nucléaire en Inde, présentée dans la figure 1, a été conçue de manière à assurer une croissance régulière de la production d'énergie. La première tranche du programme prévoit la construction de réacteurs du type CANDU-PHW alimentés à l'uranium naturel et ralentis et refroidis à l'eau lourde. Des unités de 200 MW(e) sont en cours d'installation, mais dès que la capacité de fabrication et la puissance du réseau électrique ainsi que les problèmes de transport le permettront, on installera des unités de 500 à 600 MW(e).

Simultanément, on a entrepris des travaux destinés à mettre au point les surgénérateurs à neutrons rapides refroidis au sodium. Un réacteur d'essai surgénérateur à neutrons rapides de 40 MW(t) est en construction au Centre d'études de réacteurs de Kalpakkam. On envisage par ailleurs de travailler sur les réacteurs thermiques poussés (qui seraient des réacteurs à eau lourde de la deuxième génération et présenteraient peut-être des avantages particuliers par rapport aux réacteurs du type CANDU-PHW). On procède actuellement à des études pour déterminer si l'eau légère bouillante pourrait être utilisée comme caloporteur dans un réacteur ralenti à l'eau lourde.

Pour la deuxième tranche du programme, on se propose de construire des réacteurs surgénérateurs à neutrons rapides utilisant comme combustible le plutonium produit dans les

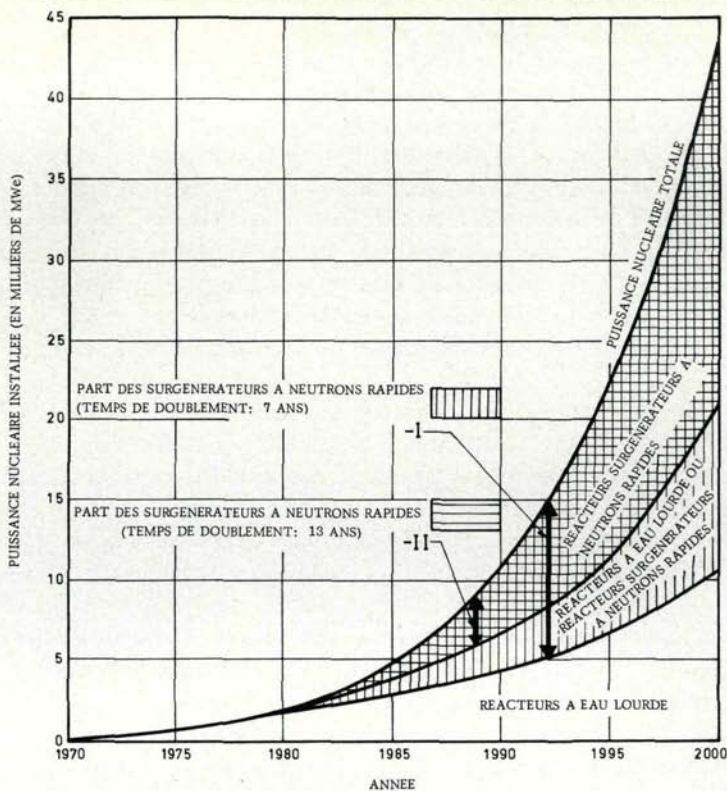


FIGURE 2. CROISSANCE DE LA PUISSANCE NUCLEAIRE INSTALLEE

réacteurs à eau lourde. Toutefois, étant donné que le temps de doublement de l'implantation nucléo-électrique sera plus court que le temps de doublement pour le surgénérateur à neutrons rapides capable des meilleures performances, il faudrait continuer à construire des réacteurs à eau lourde, même une fois que les réacteurs surgénérateurs à neutrons rapides seront considérés comme étant des réacteurs de puissances économiques. La puissance nucléaire installée totale qui est susceptible de doubler tous les cinq ans a été indiquée à la figure 2. La part de la capacité installée totale revenant respectivement aux réacteurs à eau lourde et aux réacteurs surgénérateurs à neutrons rapides dépendra du type de surgénérateur mis au point et de ses performances. La figure 2 indique, par rapport à la puissance totale, la part qui reviendrait respectivement aux réacteurs à eau lourde et aux réacteurs surgénérateurs à neutrons rapides alimentés au plutonium dans le cas où il s'agirait là des deux seuls types de réacteurs industriels parfaitement au point.

Pour cette prévision, deux types de réacteurs surgénérateurs à neutrons rapides ont été pris en considération: 1° un ayant un stock de matières fissiles de 2,5 kilogrammes par MW(e) et un temps de doublement de 7 ans et 1° autre un stock de matières fissiles de 3 kilogrammes par MW(e) et un temps de doublement de 13 ans — le rythme de construction des surgénérateurs à neutrons rapides étant lié à la quantité de plutonium produit par les réacteurs à eau lourde et par les réacteurs à neutrons rapides eux-mêmes. Il apparaît également que la puissance nucléaire installée totale d'ici à la fin du siècle — soit 43 millions de kilowatts — dépendra peut-être dans la proportion de 50 à 75 pour cent des réacteurs surgénérateurs à neutrons rapides, le reste dépendant des réacteurs à eau lourde.

Etant donné que les ressources de l'Inde en uranium naturel sont limitées, il faudrait réduire au minimum la part totale d'énergie produite par les réacteurs à eau lourde et faire produire le maximum par les réacteurs surgénérateurs à neutrons rapides. C'est pourquoi on s'efforcera tout particulièrement au cours des deux prochaines décennies de mettre au point des réacteurs surgénérateurs à neutrons rapides économiques et d'un bon rendement.

Les ressources en uranium naturel étant limitées, on a entrepris des études sur l'utilisation du thorium dans les réacteurs surgénérateurs aussi bien thermiques que rapides. On se propose de chercher à mettre au point des réacteurs surgénérateurs au thorium au cours de la deuxième tranche du programme, de manière à disposer de ce type de réacteur pour la troisième tranche. Il est donc tout à fait possible qu'à ce stade quatre types de réacteurs soient simultanément en service, à savoir: réacteurs à eau lourde à l'uranium naturel, réacteurs thermiques poussés, surgénérateurs à neutrons rapides au plutonium et surgénérateurs utilisant le cycle du thorium.

Le rôle que l'énergie d'origine nucléaire pourrait jouer à l'avenir dans la création de complexes agro-industriels dans les différentes parties du pays a été bien mis en lumière au cours des études récemment effectuées dans les régions de l'Uttar Pradesh occidental et de Saurashtra, en Inde. Les conséquences que la fourniture d'énergie et d'eau à bon marché pourrait avoir sur la campagne sont si remarquables qu'il serait avantageux d'entreprendre les programmes d'étude nécessaires en vue de l'établissement de ces complexes agro-industriels.

Outre la production d'énergie, les diverses applications des radioisotopes et des rayonnements représentent l'utilisation la plus importante de l'énergie atomique et joueront un rôle considérable dans l'avenir.

Les radioisotopes sont largement utilisés en Inde à des fins industrielles, agricoles et médicales et leur rôle dans ces domaines devrait se développer tant quantitativement que qualitativement.

Actuellement, le diagnostic à l'aide des radioisotopes n'est appliqué en Inde qu'à 0,05 pour mille de la population par an. D'après les prévisions, ce pourcentage devrait être 20 fois plus élevé d'ici à la fin de la présente décennie. Ce programme ambitieux exigerait la création de centres régionaux de médecine nucléaire et de petits laboratoires de radioisotopes dans plus de 100 cliniques universitaires disséminées dans le pays.

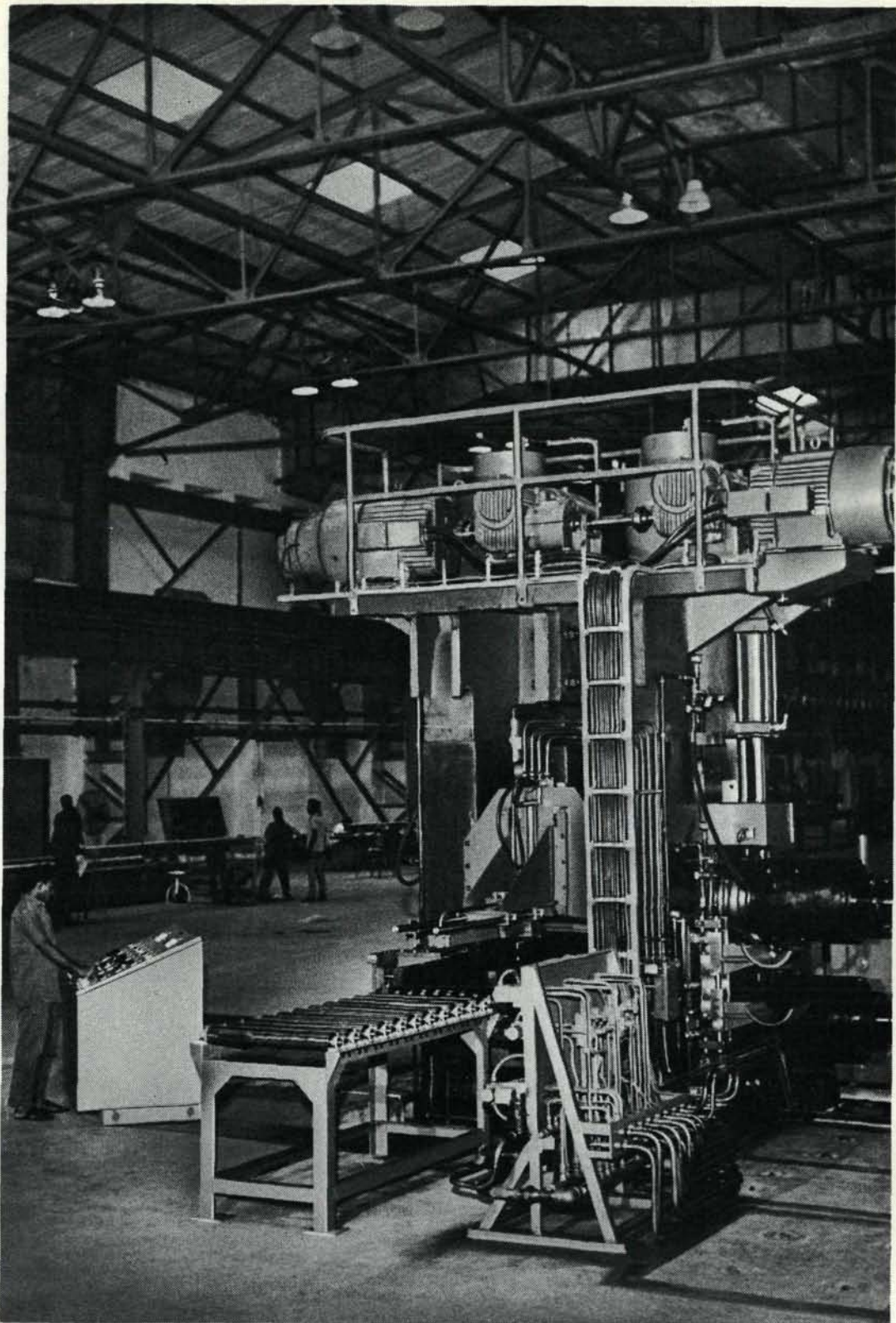
Afin d'assurer la fourniture de produits radiopharmaceutiques nécessaires à ce programme, dont le nombre et la quantité augmentent considérablement, il faudrait prendre diverses mesures particulières, notamment la construction d'un nouveau réacteur à flux élevé avec un grand volume d'irradiation et d'un cyclotron de 60 MeV à énergie variable. Par ailleurs, on agrandira les installations de production de produits terminaux.

Grâce aux nouveaux réacteurs de puissance, l'Inde disposera de quantités considérables de cobalt 60 de haute activité spécifique. On pourra ainsi recourir davantage à la téléthérapie. Ces activités seront considérablement soutenues par la mise en œuvre d'un programme de fabrication locale d'appareils de téléthérapie exécuté par l'industrie privée avec l'assistance du Centre Bhabha d'études atomiques.

Les applications industrielles bien connues, telles que les jauges nucléaires, la radiographie industrielle par les isotopes et les études à l'aide de radioindicateurs deviennent rapidement d'un usage courant.

Par ailleurs, on s'intéressera davantage dans l'avenir aux génératrices isotopiques fort utiles dans les régions éloignées ou inaccessibles, par exemple pour les satellites et les régulateurs cardiaques. On commencera bientôt à mettre au point des sources radioactives et des systèmes de conversion appropriés pour ces dispositifs.

Le cobalt 60 vient au premier rang des sources de rayonnement en raison des multiples possibilités qu'il offre, de la facilité avec laquelle il est produit, de sa longue période et de



Le laminoir du Centre de combustible nucléaire, à Hyderabad

la modicité de son prix de revient. Avec la mise en service des nouveaux réacteurs de puissance, on arrivera progressivement au cours des cinq prochaines années à disposer de quantités de cobalt 60 pouvant atteindre jusqu'à 3 MCi par an. On a pratiquement terminé la mise en place de l'infrastructure nécessaire pour manipuler et traiter ce cobalt et pour fabriquer des sources. Au cours de la décennie, la production locale de cobalt 60 donnera une impulsion au programme de construction de grandes installations d'irradiation pour la stérilisation des fournitures médicales, la conservation des aliments, la fabrication de composés bois/matières plastiques, la synthèse chimique et les procédés de modification des matières plastiques. Le traitement à échelle industrielle des eaux usées et la fabrication de composés de polymères et de béton figurent au nombre des autres possibilités d'utilisation du cobalt 60 qui pourraient être exploitées avec profit dans un avenir relativement proche.

La première de ces installations, pour la stérilisation des fournitures médicales, sera achevée à la fin de 1973. Elle permettra non seulement de faire face à la nécessité, ressentie depuis longtemps, de pouvoir stériliser les produits médicaux, mais également de stimuler le développement de l'industrie des articles médicaux à usage unique et d'autres industries auxiliaires implantées dans le pays. Au cours des vingt prochaines années, il devrait y avoir dans chacune des principales régions du pays des installations analogues pour répondre à la demande intérieure.

La conservation des aliments par irradiation devrait bientôt être acceptée de manière générale en raison des avantages particuliers qu'elle offre. Le programme indien prévoit la construction au cours de la présente décennie de grandes installations de démonstration pour la conservation de produits tels que les oignons, les pommes de terre, les céréales, les fruits et les produits de la mer. Aux installations de démonstration devraient succéder un certain nombre d'installations d'irradiation des aliments de taille industrielle.

Les applications des radioisotopes revêtent une grande importance pour les pays en voie de développement dont l'économie repose essentiellement sur l'agriculture. L'évaluation, à l'aide d'eau tritiée, des ressources en eau souterraine et la vitesse de leur renouvellement dans des régions telles que la plaine du Gange, où l'on se propose de recourir largement à l'irrigation par pompage, présente un immense intérêt pratique. L'Inde a récemment fait l'expérience des conséquences économiques spectaculaires de nouvelles souches de graines. L'utilisation des rayonnements pour donner de nouvelles possibilités aux spécialistes de la sélection des plantes est particulièrement importante. De même, l'étude, à l'aide de produits chimiques marqués, de la fixation des engrais et de l'eau par les végétaux, peut se traduire par l'adoption de méthodes d'utilisation rationnelle des deux.

Les applications des radioisotopes et des rayonnements sont en train de devenir une industrie courante en Inde. Les projets de grands programmes esquissés ci-dessus donneraient à cette industrie une impulsion sans précédent qui exigerait une mobilisation considérable de ressources matérielles et humaines et une orientation commerciale prononcée.

Etant donné l'importance que le programme nucléaire revêt pour l'Inde, on est en train d'accélérer le rythme des études et réalisations dans le domaine de la technologie nucléaire. Une preuve en est la construction d'un réacteur de recherche de 100 MW à Trombay, et le développement rapide du programme du Centre d'études de réacteurs.

Pour reprendre les termes du Premier Ministre, Madame Indira Gandhi, «à ceux qui avaient parlé d'une économie basée sur la bouse de vache qui souhaitait se tourner vers l'énergie nucléaire, M. Bhabha avait expliqué de manière convaincante quelles étaient les "retombées" technologiques de l'énergie atomique et ses conséquences dans d'autres domaines de l'activité économique et scientifique. Au cours des vingt dernières années, nous avons mis en place notre infrastructure Si la mise en place de l'infrastructure elle-même exige une technologie de pointe, les progrès futurs en seront accélérés. C'est la l'idée-force qui justifie les activités du Département de l'énergie atomique» .

PROCHAINES CONFÉRENCES

Date	Sujet	Lieu
22 - 26 janvier	Colloque sur la commande et l'instrumentation des centrales nucléaires	Prague
5 - 9 février	Colloque sur les principes et les normes de sûreté des réacteurs	Juliers (Rép. féd. d'Allemagne)
12 - 16 mars	Colloque sur les applications des constantes nucléaires dans la science et la technologie	Paris
26 - 30 mars	Colloque sur les nouveautés en matière de produits radio-pharmaceutiques et de composés marqués	Copenhague
14 - 18 mai	Colloque AIEA/NEA/OMS sur le comportement dans l'environnement des radioisotopes rejetés par l'industrie nucléaire	Aix-en-Provence (France)