

L'énergie d'origine nucléaire et le transfert de technologies

par H.J. Laue*

Pour la majorité des pays en développement, l'énergie d'origine nucléaire n'est pas encore devenue un moyen pratique de production de chaleur et d'électricité. C'est pourquoi l'assistance technique fournie par l'AIEA à ces pays a surtout consisté à transférer des techniques nucléaires faisant appel aux radioisotopes. Ceux-ci jouent en effet un rôle appréciable dans le traitement des maladies, l'élimination des ravageurs, l'augmentation de la production agricole, l'amélioration de la qualité des produits alimentaires, l'évaluation et la gestion des ressources en eau et l'accroissement de la qualité des produits industriels. Il n'est guère d'activités humaines qui échappent aux applications de la science nucléaire. Les techniques nucléaires peuvent être en outre utilement intégrées à des programmes nationaux concernant l'agriculture, les ressources en eau, la santé et la médecine ainsi que la recherche industrielle. Leur application dans ces domaines contribue à former des cadres de techniciens et d'administrateurs familiarisés avec l'utilisation des sciences nucléaires à des fins économiques et capables d'employer les rayonnements avec sûreté, et peut être en outre considérée comme constituant un premier pas vers l'utilisation éventuelle de l'énergie nucléaire. Ce dernier aspect revêt une importance encore plus grande pour les 30 pays en développement qui exploitent déjà des réacteurs de recherche.

Il est donc nécessaire de faire une distinction entre le transfert de technologies nucléo-électriques, dont bénéficient actuellement une douzaine de pays en développement, et celui des techniques scientifiques nucléaires qui ont des applications fécondes dans la quasi-totalité des autres pays en développement, c'est-à-dire plus de 120 au total.

L'énergie d'origine nucléaire

Toute pénurie d'énergie dans les pays en développement entrave à la fois la poursuite de leur développement et l'amélioration de leur niveau de vie. On estime que le monde en développement comptera au moins 12 à 15 villes de plus de 10 millions d'habitants à la fin des années 90 et qu'en conséquence, aux environs de l'an 2000, près de la moitié de la population mondiale vivra dans des régions très urbanisées. Pour faire face à l'accroissement de la demande d'énergie qui en résultera, les pays en développement devront disposer de réseaux d'alimentation en énergie extrêmement centralisés. En tant qu'élément d'un réseau d'alimentation optimal, l'énergie d'origine nucléaire semblerait constituer une solution évidente à ce problème.

Et pourtant, à l'heure actuelle, 13 centrales nucléaires seulement, d'une puissance totale de

6200 MWe, sont en service dans sept pays en développement; 24 autres, d'une puissance globale de 16 000 MWe environ, sont en construction dans ces mêmes pays ainsi qu'à Cuba, au Mexique et aux Philippines. Dans un petit nombre d'autres pays, la construction de centrales n'a pas dépassé le stade de la planification (voir figure 1).

Comme le montre la figure 2, 1,3% seulement de l'électricité produite dans les pays en développement est d'origine nucléaire contre 9% pour l'ensemble du monde. En 1985, la part du nucléaire dans la production totale d'électricité des pays en développement se situera vraisemblablement aux environs de 4,4% contre 20% dans le monde industrialisé, y compris les pays à économie planifiée.

En conséquence, la dépendance des pays en développement vis-à-vis des importations de pétrole, avec toutes les conséquences qu'elle comporte, ne fera que croître et il se pourrait que, vers l'an 2010, les besoins en pétrole de ces pays viennent à dépasser la demande mondiale actuelle.

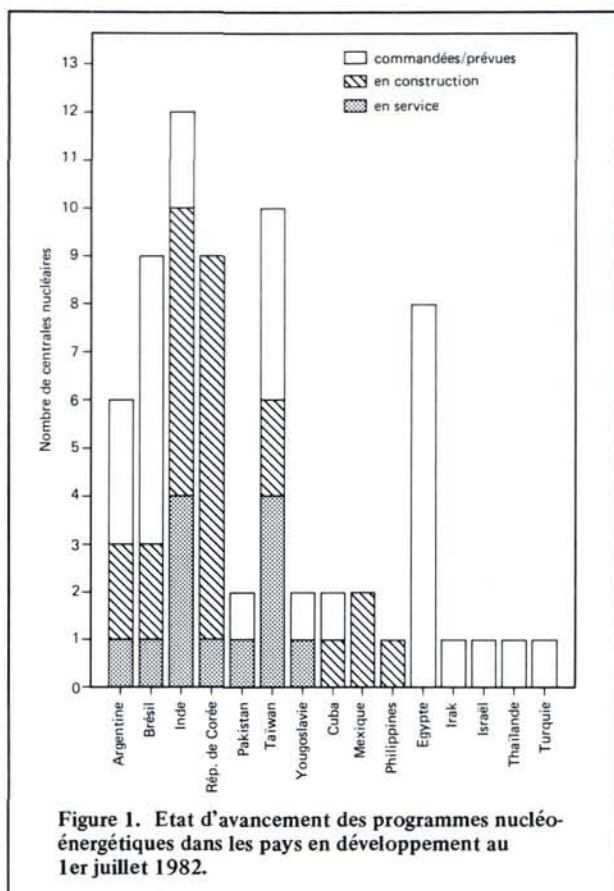
Etant donné que le nucléaire est une source d'énergie techniquement et économiquement concurrentielle et immédiatement disponible sur une grande échelle industrielle, on peut se demander quels sont les obstacles qui s'opposent à son expansion dans les pays en développement et quel rôle l'AIEA devrait jouer pour promouvoir le transfert de techniques nucléaires qui est la condition préalable essentielle aux progrès des utilisations pacifiques de l'énergie nucléaire dans ces pays.

L'introduction de l'énergie d'origine nucléaire dans un pays en développement pose des problèmes et fait intervenir des considérations qui sont propres à ce domaine, ce qui fait que l'expérience acquise en matière de transfert de technologie dans d'autres secteurs du développement industriel ne peut être mise à profit qu'en partie. C'est pour répondre à cette difficulté que l'AIEA a récemment publié une *Guide sur l'introduction de l'énergie d'origine nucléaire* (Collection Rapports techniques N° 217, 1982 — en anglais seulement), qui contient des renseignements à jour sur les travaux préparatoires au lancement d'un programme nucléo-énergétique dans un pays en développement.

Tant en raison de sa complexité technique et des exigences exceptionnelles qu'il implique sur le plan de la sûreté que des enjeux économiques que représente un programme nucléo-électrique, il est impératif de disposer au début de ce programme de personnel hautement qualifié. Un tel programme nécessite normalement des délais d'exécution d'au moins dix ans.

L'expérience a montré qu'en matière de personnel, les insuffisances les plus graves portent actuellement non pas sur les scientifiques et ingénieurs nucléaires de niveau universitaire, dont un grand nombre est souvent

* M. Laue est Directeur de la Division de l'énergie d'origine nucléaire à l'Agence. Le présent article a été établi sur la base d'un exposé de M. Laue à la deuxième Conférence internationale sur le transfert de technologie nucléaire qui s'est tenue à Buenos Aires.



disponible, mais sur les ingénieurs expérimentés ayant l'expérience pratique de projets importants ainsi que sur les techniciens et ouvriers qualifiés.

Afin d'éclairer davantage les pays en développement sur l'ampleur des besoins en personnel, l'AIEA a publié en 1980 un *Guide sur la formation de personnel pour l'industrie nucléaire* (Collection Rapports techniques N° 200 – en anglais seulement). Ce guide étudie les besoins en personnel, les qualifications techniques qu'il devrait avoir et la formation à dispenser à cette fin.

En 1975, l'AIEA a entrepris une série de cours visant à assurer le transfert de l'expérience acquise dans tous les domaines de la planification d'un programme nucléo-électrique, de l'exécution d'un projet et de l'exploitation d'une centrale nucléaire. Ces cours ont été très utiles, car ils ont donné aux participants un aperçu de l'ampleur, de la complexité et des besoins d'un programme nucléo-énergétique. A ce jour, ils ont été suivis par plus de 1000 participants venus d'environ 45 pays en développement.

Les bourses octroyées par l'Agence pour une formation dans des projets nucléo-électriques en cours et dans les industries connexes représentent un aspect important du programme de coopération technique élaboré par l'AIEA à l'intention des pays en développement. En 1981, l'AIEA a accordé 65 bourses de ce type.

L'Agence a, en outre, envoyé des missions de plus en plus nombreuses dans les Etats Membres, pour leur donner des conseils et leur fournir une aide concernant

la planification et la mise en œuvre de programmes coordonnés de formation et de perfectionnement du personnel pour les programmes nucléo-électriques nationaux.

Un pays qui entreprend un programme nucléo-énergétique doit aussi créer l'infrastructure industrielle nécessaire. Toutefois, celle-ci devrait être planifiée en même temps que le programme de développement industriel du pays et être en rapport avec son offre et sa demande d'énergie. Pour la plupart, les pays en développement ne sont pas en mesure de mettre au point une technologie hautement sophistiquée dans des délais raisonnables, au moyen des seules ressources nationales, et font normalement appel pour ce faire à l'étranger. La continuité du transfert de technologie est alors en général assurée par les pouvoirs publics, le plus souvent dans le cadre d'un accord de coopération bilatérale. Tel est aujourd'hui et de loin le principal mécanisme de transfert de technologie nucléaire. Les accords intergouvernementaux bilatéraux sont conclus en même temps que le contrat commercial relatif aux centrales nucléo-électriques ou aux installations nucléaires. Ce contrat institue normalement une coopération technique et administrative étroite entre l'acheteur et le vendeur. Il est généralement plus simple pour les pays acheteurs et fournisseurs de conclure directement ces arrangements complexes que de recourir aux bons offices d'un tiers. L'Argentine et le Brésil sont des exemples éclatants d'une coopération bilatérale qui a permis de mettre conjointement en place l'infrastructure industrielle nécessaire pour un programme nucléo-électrique.

Toutefois, il est manifeste qu'aux premiers stades d'un programme nucléo-électrique, les pays en développement ont besoin d'une assistance très étendue. Cette assistance ne peut leur être normalement fournie que par des organisations internationales dans le cadre d'une coopération multilatérale.

En conséquence, l'assistance technique de l'AIEA à ses Etats Membres est de plus en plus axée sur les études objectives de planification nucléo-électrique, et notamment les conditions et exigences qui doivent être satisfaites préalablement à l'introduction de l'énergie nucléaire ainsi que la définition des besoins particuliers de chaque Etat Membre*. Les projets réalisés en coopération avec l'Agence portent également sur des aspects plus concrets, tels que la taille et la structure du réseau, son évaluation économique et son financement, l'infrastructure administrative et industrielle, la sûreté, l'assurance de la qualité et la gestion des déchets radioactifs. Pour fournir cette assistance, l'AIEA coopère très fréquemment avec d'autres organisations internationales, telles que le PNUD, l'UNESCO et la Banque mondiale.**

* Pour plus de précisions sur les travaux de l'Agence dans ce domaine, voir l'article de L.L. Bennett: «Le rôle de l'énergie nucléaire dans l'économie des pays en développement: comment l'Agence peut aider à l'évaluer», *Bulletin de l'AIEA* Vol. 24, N° 3 (sept. 1982).

** Programme des Nations Unies pour le développement (PNUD); Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture (UNESCO); et Banque internationale pour la reconstruction et le développement (Banque mondiale).

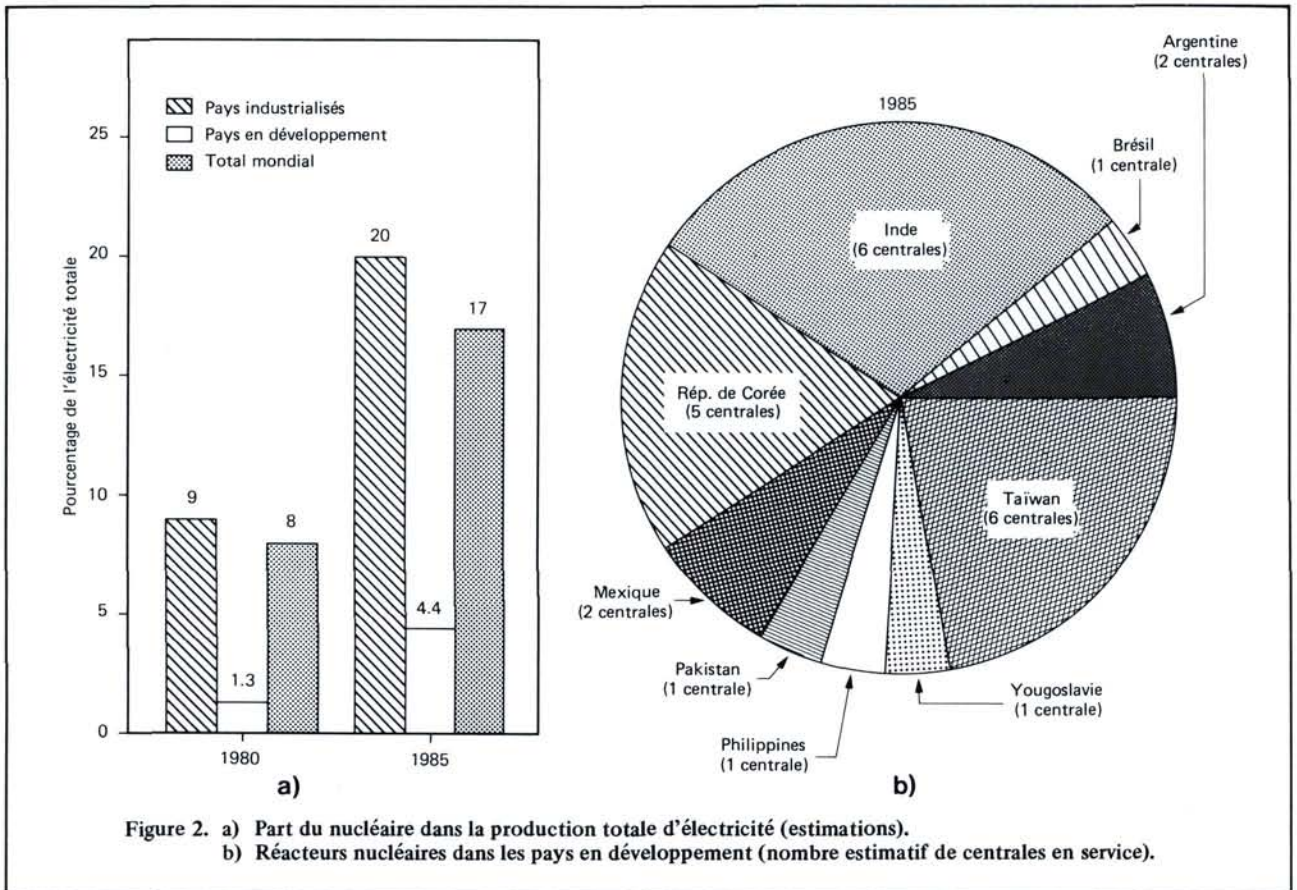


Figure 2. a) Part du nucléaire dans la production totale d'électricité (estimations).
b) Réacteurs nucléaires dans les pays en développement (nombre estimatif de centrales en service).

Pour accomplir efficacement sa tâche, l'AIEA s'est tout d'abord attachée à mettre au point des mécanismes d'évaluation des besoins globaux en énergie, en électricité et en énergie d'origine nucléaire en fonction des plans de développement économique et d'autres facteurs. Les besoins futurs en énergie nucléaire et le rôle de cette dernière ne peuvent être analysés de manière réaliste que dans le cadre des projections de l'offre et de la demande futures d'énergie d'un pays donné.

Sûreté nucléaire et gestion de déchets

La coopération internationale dans le domaine de la sûreté nucléaire est un autre aspect important qui ne doit pas être perdu de vue car tout accident nucléaire grave pourrait retarder considérablement l'utilisation généralisée de l'énergie nucléaire.

C'est pourquoi l'assistance aux pays en développement en matière de sûreté nucléaire devrait aller bien au-delà d'un simple transfert de technologie. Tout d'abord, il est indispensable que le gouvernement d'un pays qui entreprend un programme nucléo-énergétique crée un organisme public pleinement responsable sur le plan national de la surveillance et du contrôle de toutes les activités relatives à la sûreté et à la protection de l'environnement en ce qui concerne le choix des sites, la construction, les essais de mise en service, l'exploitation et le déclassement des centrales nucléo-électriques et des installations nucléaires.

En raison du caractère transfrontière des problèmes de sûreté, les organismes internationaux fournissent

déjà aux pays en développement des données fondamentales extrêmement précieuses concernant la sûreté des centrales nucléaires. Ainsi, le système de limitation des doses de la CIPR* stipule qu'aucune pratique entraînant une exposition aux rayonnements ionisants ne doit être autorisée, sauf si elle produit des effets nets positifs, et qu'aucune radioexposition individuelle ne doit dépasser les limites de dose de rayonnement spécifiées.

Le programme de l'AIEA relatif aux normes de sûreté nucléaire (Programme NUSS)** a permis d'établir, pour les centrales nucléaires à neutrons thermiques, un ensemble internationalement reconnu de codes de bonne pratique et de guides de sûreté dans les domaines de l'organisation gouvernementale, du choix des sites, de la conception, de l'exploitation et de l'assurance de la qualité. Ces documents jouent déjà un rôle important en matière de transfert de technologies, y compris de connaissances en matière de sûreté, entre pays développés et pays en développement car ils sont fondés sur les avis des experts mondiaux les plus réputés.

* Commission internationale de protection radiologique. La CIPR, organisation non gouvernementale d'experts indépendants, a été créée en 1928 pour recommander les doses maximales de rayonnement auxquelles les êtres humains peuvent être exposés sans danger. Ses recommandations ont été universellement acceptées au cours des 50 dernières années par les organismes nationaux et internationaux chargés de la radioprotection.

** Pour une description du Programme NUSS, voir l'article de M. Andres dans le *Bulletin de l'AIEA*, supplément pour 1982.

Le Règlement de transport des matières radioactives, dont l'AIEA a établi la première version en 1961, est maintenant appliqué dans le monde entier. Il permet de procéder rapidement à des échanges transnationaux de matières radioactives de tous types.

Ces normes de sûreté, assorties de renseignements concernant les modalités de leur mise en œuvre, constituent une réalisation remarquable. Elles donnent des renseignements précis sur la politique de sûreté, les critères principaux à satisfaire et les méthodes éprouvées pour y parvenir. Tous les pays peuvent se procurer ces normes.

Il faut néanmoins reconnaître que les normes de sûreté ne représentent qu'une partie de la tâche à accomplir dans le domaine des normes nucléaires et radiologiques. L'extrême complexité de la technologie en jeu pose des problèmes difficiles à résoudre à un pays parvenu aux premiers stades d'un programme nucléo-énergétique. C'est pourquoi l'AIEA renforce actuellement ses services consultatifs. La méthode généralement suivie consiste à envoyer, dans les pays qui le demandent, des missions de sûreté composées d'experts dont la compétence fait autorité. L'objectif visé est d'établir des contacts directs entre les experts du pays en développement concerné et ceux des pays développés de manière qu'ils puissent, en coopération étroite, diagnostiquer le problème, concevoir des mesures appropriées et les appliquer.

Pendant de nombreuses années, l'Agence a également chargé des missions d'examiner la question du choix des sites, d'abord pour les réacteurs de recherche puis pour les réacteurs de puissance. Plusieurs missions de ce type se trouvent actuellement dans des pays en développement afin de réunir les éléments d'information nécessaires sur le site, à l'intention des ingénieurs-concepteurs de la centrale, et d'aider au choix du site.

L'Agence a organisé d'autres missions pour étudier la construction et la mise en service de centrales nucléo-électriques. Plus récemment, elle a constitué des équipes en vue d'aider les organismes responsables des pays en développement à vérifier la sûreté d'exploitation des centrales, afin de maintenir ou même d'accroître le niveau de sûreté atteint au moment de la mise en service.

L'Agence a également mis sur pied des missions chargées de participer à l'établissement des plans d'urgence pour les centrales nucléaires. L'industrie nucléaire s'emploie à éviter les accidents mais il importe de préparer des plans d'urgence pour atténuer les conséquences éventuelles d'un accident d'ailleurs tout à fait improbable.

L'élimination dans des conditions de sécurité des déchets radioactifs, et en particulier des déchets de haute activité, a été l'une des questions qui ont le plus préoccupé l'opinion publique dans les pays industrialisés. Ceci tient en partie au fait que lesdits pays ne lui avaient pas accordé jusqu'à présent une attention suffisante. Ce que le public exige maintenant, c'est une preuve tangible de la sûreté du stockage, c'est-à-dire une démonstration. Les pays désireux de recourir à l'énergie nucléaire seraient donc bien avisés de prévoir, dès les premiers stades de leurs programmes, les dispo-

sitions à prendre pour l'entreposage du combustible irradié, le stockage définitif des déchets et le déclassement des installations. Le coût de ces mesures devrait être inclus dans le prix de l'électricité.

Le programme de l'Agence dans ce domaine, outre qu'il offre la possibilité d'un échange d'informations, implique la collecte de données et de renseignements destinés à fournir à tous les Etats Membres des orientations sur l'ensemble des aspects de l'élimination des déchets, c'est-à-dire les aspects techniques, réglementaires et écologiques. Les activités correspondantes ont donc été réparties en trois catégories: manutention et traitement des déchets radioactifs, stockage souterrain des déchets et aspects écologiques de l'énergie nucléaire.

Pour les programmes nucléo-électriques plus restreints des pays en développement, les formules de coopération, telles que la création de centres multinationaux du cycle du combustible proposée par l'AIEA, mériteraient d'être étudiées plus à fond tant du point de vue économique que de celui des garanties. Toutefois, bien que la réalisation de ces centres paraisse techniquement possible, les problèmes associés aux arrangements internationaux nécessaires n'ont pas encore été résolus.

Considérations économiques et commerce

La question des approvisionnements en uranium constitue un problème particulier pour les pays en développement. Une étude récente effectuée par l'AIEA, en coopération avec l'Agence pour l'énergie nucléaire de l'OCDE (AEN), estime que 35 pays en développement possèdent de bonnes ressources potentielles d'uranium mais ne se sont livrés jusqu'ici qu'à des efforts de prospection insuffisants. Sur les 17 pays en développement qui ont fait état de ressources en uranium à l'AIEA, huit seulement se sont lancés dans un programme nucléo-électrique et uniquement deux produisent de l'uranium. Compte tenu de la baisse régulière du prix de l'uranium, qui est passé d'environ 112 dollars à moins de 40 dollars le kg sur le marché du disponible, les pays en développement semblent avoir peu d'espoir d'attirer des capitaux pour financer de nouvelles activités de prospection d'uranium et mettre en place de nouvelles mines et usines d'uranium. Néanmoins, l'AIEA a aidé plus de 30 pays en développement à découvrir et à exploiter des ressources uranifères et à améliorer le rendement et l'efficacité de leurs activités d'extraction et de traitement.

Compte tenu de l'ampleur des investissements nécessaires à un programme nucléo-électrique, le financement peut constituer un autre obstacle pour les pays en développement. Toutefois, les économies sur les coûts du combustible que de tels programmes permettraient de réaliser à long terme devraient inciter ces pays à chercher les capitaux nécessaires aux investissements correspondants.*

Une première estimation situe le montant total des investissements nécessaires à l'installation d'une centrale nucléaire de 600 MWe entre 1 et 1,5 milliard de

* Voir l'article de M. Rovani, page 24, dans le présent numéro du *Bulletin de l'AIEA*.

dollars au taux de change de 1982. Ce calcul est fondé sur des coûts d'investissement de 1500 à 2500 dollars par kWh de puissance installée. Les coûts réels seront fonction de l'infrastructure existante, du coût de la conversion à une tension électrique plus élevée et du coût d'agrandissement du réseau de transport et de distribution d'électricité.

Il est donc manifeste que le financement d'un programme nucléo-électrique doit être considéré comme un effort national de première importance qui exige des arrangements financiers appropriés à long terme. Il faut toutefois admettre qu'un programme nucléo-électrique ne constituera que l'un des programmes de développement qui chercheront concurremment à attirer les capitaux d'investissement disponibles. Lorsqu'ils envisagent de faire appel à l'énergie nucléaire, les gouvernements ne devraient pas exclure la possibilité qu'il existe peut-être d'autres options ou techniques mieux adaptées à leur situation.

La pénurie relative de réacteurs de moyenne et petite puissance a constitué une autre entrave à l'introduction de l'énergie nucléaire dans les pays en développement. Le réacteur soviétique à eau sous pression de 440 MWe qui est encore construit et exporté constitue une exception. La mise sur le marché de centrales encore plus petites (de 200 à 400 MWe) permettrait de répondre aux besoins en électricité d'un plus grand nombre d'autres pays en développement qui disposent de réseaux peu étendus et relativement mal interconnectés.

Les études actuelles montrent que, par suite du prix maintenant élevé du pétrole, les centrales nucléo-électriques pourraient concurrencer les centrales au fuel d'une puissance ne dépassant pas 200 MWe environ. En outre, avec le renouveau d'intérêt auquel on assiste à présent de la part des fournisseurs, quelques nouveaux modèles ont été mis au point dans la gamme des 200 à 400 MWe et la conception des centrales de 600 MWe a été modernisée.

Toutefois, il faut reconnaître que le passage au nucléaire avec un réacteur de faible puissance exige pratiquement le même engagement dans la voie des technologies de pointe du point de vue personnel, infrastructure et transfert de technologie que celui qu'implique la mise en service d'un réacteur de forte puissance.

Le problème des petits et moyens réacteurs préoccupe depuis longtemps l'AIEA. L'Agence est prête à aider les Etats Membres à déterminer s'ils ont intérêt à adopter des petits réacteurs en contribuant pour ce faire aux études de planification énergétique et d'évaluation technique des modèles de réacteurs et de leurs principaux composants; mais son Statut lui interdit de participer au financement. Evoquant ce problème à la Conférence sur l'expérience acquise dans le domaine nucléo-énergétique qui s'est tenue à Vienne en 1982, un Etat Membre a proposé d'établir un projet de démonstration d'une petite centrale nucléaire qui serait coordonné par l'AIEA et financé par tous les pays.

Cette solution semble intéressante et mériterait d'être étudiée plus à fond.

Toutefois, les entraves aux échanges nucléaires sont également d'ordre politique. Les transferts de matières nucléaires, de matériel et de technologies sensibles devraient être fondés sur un système international efficace de garanties, reconnu et respecté par tous. A cet égard, il convient de faire état des travaux du Comité de la sécurité des approvisionnements (CSA) qui visent à établir un cadre pour les approvisionnements nucléaires, sur la base de considérations mutuellement acceptées en matière de non-prolifération. Le CSA s'efforce de promouvoir le commerce nucléaire international, de concevoir des mécanismes de dépannage en cas d'interruption des approvisionnements et de contribuer au maintien du régime de non-prolifération.

Techniques scientifiques nucléaires

Le programme de transfert de technologies de l'AIEA, financé par l'Agence par prélèvement sur ses propres ressources, par le PNUD et par les Etats Membres, porte en majeure partie sur l'introduction des techniques scientifiques nucléaires dans les pays en développement. Au titre de ce programme, l'Agence a organisé en 1981 des programmes de bourses pour environ 600 boursiers dans divers secteurs des techniques nucléaires et isotopiques. Pendant la même année, l'Agence a affecté 400 experts au total à des projets en cours dans plus de 60 Etats Membres et fourni du matériel spécialisé représentant une valeur de 10 millions de dollars.

L'Agence a également mis au point, ce qui fera date au sein du système des Nations Unies, un programme substantiel d'aide à la recherche destiné à des établissements situés dans quelque 60 pays. Plus de 75% des crédits annuels servent à financer une série de programmes de recherche coordonnée visant à étudier un ensemble de questions bien définies concernant la technologie nucléaire. Certes, la majorité des programmes concerne la technologie isotopique mais il existe également d'autres programmes importants dans des domaines tels que la radiobiologie et la technique des réacteurs.

Souhaitant proposer une formule plus intégrée de transfert de technologies, l'Agence a mis en œuvre, il y a plus de dix ans, un accord régional de coopération en Asie et dans le Pacifique qui a permis d'apporter une réponse multidisciplinaire aux problèmes de cette région. Cette année, l'Agence a entrepris la réalisation d'un projet de coopération technique de plus grande ampleur, auquel quelque 12 millions de dollars seront affectés au cours des six ans à venir. Environ la moitié de ce montant sera fournie par les Etats Membres eux-mêmes. Sur la base des résultats qui seront obtenus dans le cadre de ce programme en Asie et dans le Pacifique, l'Agence envisagera éventuellement d'entreprendre un programme analogue à l'intention des pays d'Amérique latine.