

AIEA BULLETIN



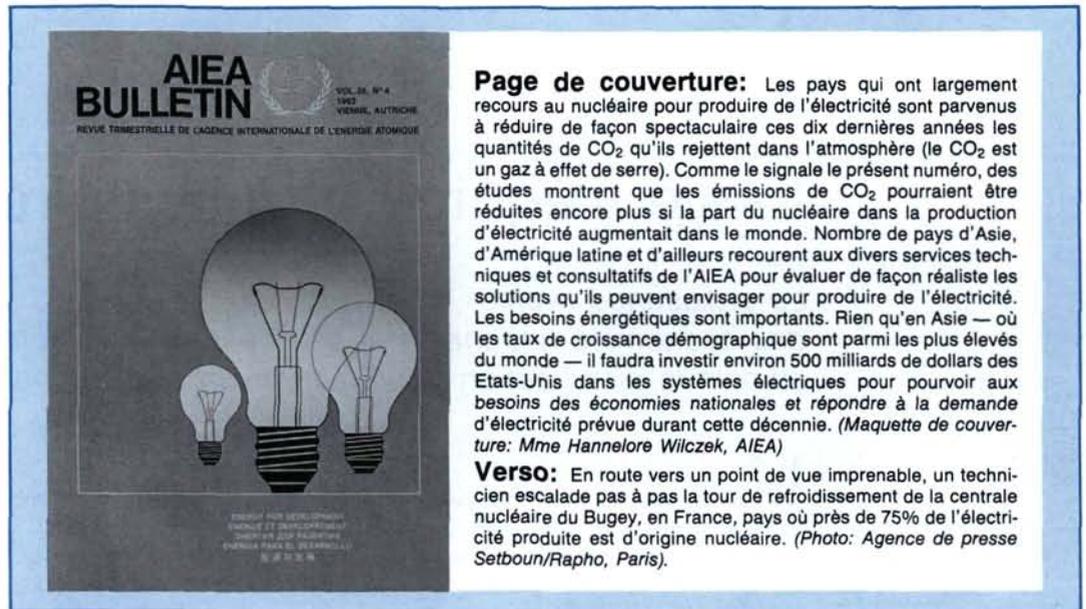
VOL.35, N°4
1993
VIENNE, AUTRICHE

REVUE TRIMESTRIELLE DE L'AGENCE INTERNATIONALE DE L'ENERGIE ATOMIQUE



ENERGY FOR DEVELOPMENT
ENERGIE ET DEVELOPPEMENT
ЭНЕРГИЯ ДЛЯ РАЗВИТИЯ
ENERGIA PARA EL DESARROLLO
能源与发展





Page de couverture: Les pays qui ont largement recours au nucléaire pour produire de l'électricité sont parvenus à réduire de façon spectaculaire ces dix dernières années les quantités de CO₂ qu'ils rejettent dans l'atmosphère (le CO₂ est un gaz à effet de serre). Comme le signale le présent numéro, des études montrent que les émissions de CO₂ pourraient être réduites encore plus si la part du nucléaire dans la production d'électricité augmentait dans le monde. Nombre de pays d'Asie, d'Amérique latine et d'ailleurs recourent aux divers services techniques et consultatifs de l'AIEA pour évaluer de façon réaliste les solutions qu'ils peuvent envisager pour produire de l'électricité. Les besoins énergétiques sont importants. Rien qu'en Asie — où les taux de croissance démographique sont parmi les plus élevés du monde — il faudra investir environ 500 milliards de dollars des Etats-Unis dans les systèmes électriques pour pourvoir aux besoins des économies nationales et répondre à la demande d'électricité prévue durant cette décennie. (Maquette de couverture: Mme Hannelore Wilczek, AIEA)

Verso: En route vers un point de vue imprenable, un technicien escalade pas à pas la tour de refroidissement de la centrale nucléaire du Bugey, en France, pays où près de 75% de l'électricité produite est d'origine nucléaire. (Photo: Agence de presse Setboun/Rapho, Paris).

SOMMAIRE

- Perspectives** L'Asie s'équipe en nucléaire
Chuanwen Hu et Georg Woite / 2
- Coopération régionale en Asie et dans le Pacifique:
planification de l'énergie, de l'électricité et du nucléaire
J. Easey et P. Molina / 8
- Stratégies de l'énergie et électricité en Amérique latine
et dans les Caraïbes: soutenir le développement
E. Bertel et P. Molina / 13
- Moins de dioxyde de carbone grâce à l'énergie nucléaire
J.F. van de Vate et L.L. Bennett / 20
- Production d'électricité et gestion des déchets: diverses options
V. Tsyplenkov / 27
- Repères** Renforcement de la sûreté nucléaire et radiologique dans les pays de l'ex-URSS
Morris Rosen / 34
- Améliorer la sûreté des centrales nucléaires VVER:
priorité à l'assistance technique en Europe centrale et orientale
Wiktor Zyszkowski / 39
- La prochaine génération de centrales nucléaires et au-delà: un projet ambitieux
C.A. Goetzmann, L. Kabanov et J. Kupitz / 45
- Dossier** Les niveaux de radioexposition dans le monde: dernières nouvelles internationales
Abel González / 49
-
- Rubriques** Actualités internationales/Données statistiques / **52**
- Nouvelles publications de l'AIEA / **62**
- Bases de données en ligne / **64**
- Vacances de postes annoncées à l'AIEA / **66**
- Colloques et séminaires organisés par l'AIEA/
Programmes de recherche coordonnée de l'AIEA / **68**

L'Asie s'équipe en nucléaire

La croissance rapide des économies nationales et des besoins en électricité stimule la planification de l'équipement nucléo-énergétique

par
Chuanwen Hu
et Georg Woite

L'Asie, continent le plus peuplé au monde, est en pleine croissance économique depuis plusieurs décennies. Dans nombre de pays, ce développement auquel s'ajoute une forte croissance démographique a considérablement enflé la demande d'énergie et d'électricité, demande que les centrales thermiques et hydro-électriques classiques ne seront pas en mesure de satisfaire. Il est donc probable que l'énergie nucléaire sera une solution de choix pour assurer un approvisionnement durable de la région en énergie électrique.

Au Japon et en République de Corée, par exemple, les programmes d'équipement nucléo-énergétique sont une réussite et assurent déjà une bonne partie de la production totale d'énergie électrique. La République populaire de Chine et l'Inde, qui sont les deux principaux pays en développement du monde, procèdent activement à leur équipement nucléo-énergétique, tandis que plusieurs autres pays d'Asie font part de leur intention d'inclure l'énergie nucléaire dans leurs programmes énergétiques à long terme.

Nous examinerons dans cet article l'évolution de la production énergétique de la région et, plus particulièrement, la situation et les perspectives du nucléaire. Nous en profiterons pour passer brièvement en revue divers aspects de la croissance démographique et économique, de la demande d'énergie, des problèmes écologiques et financiers et de la production énergétique en Asie, ainsi que la situation de certains pays en rapport avec les possibilités de l'énergie nucléaire.

Situation économique et énergétique

Près de 60% de la population mondiale vit en Asie; dans la plupart des pays de la région, le produit national brut et la consommation d'énergie par habitant sont très faibles. L'Asie du Sud connaît une des croissances démographiques les plus fortes du monde, qui se maintiendra probablement jusqu'à la

fin du siècle et même au-delà. La population est essentiellement rurale et utilise très peu d'énergie d'origine industrielle. Cela dit, l'urbanisation accélérée et l'amélioration des niveaux de vie dans l'avenir se traduiront par une demande accrue d'énergie, surtout d'énergie d'origine industrielle, telle l'électricité en particulier. Le développement économique rapide de nombreux pays d'Asie est le moteur de la croissance de la demande d'énergie. Il en résulte une aggravation des pénuries actuelles, de sorte que les coupures d'électricité et le rationnement sont devenus chose courante dans les municipalités.

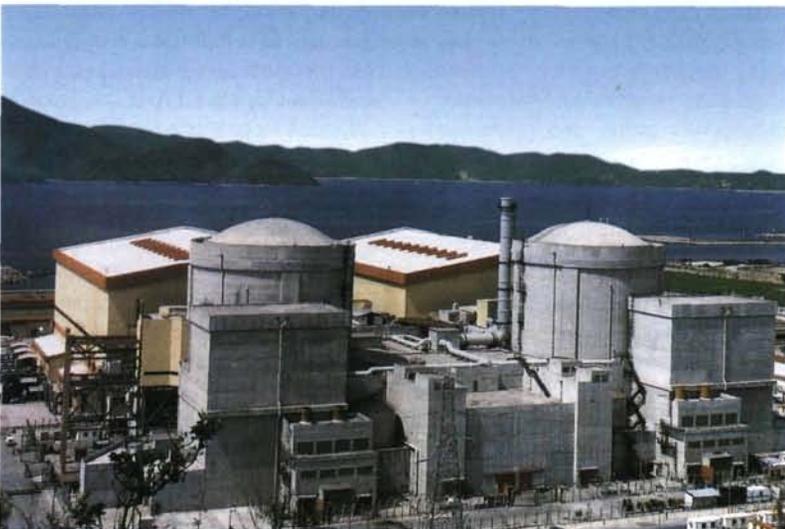
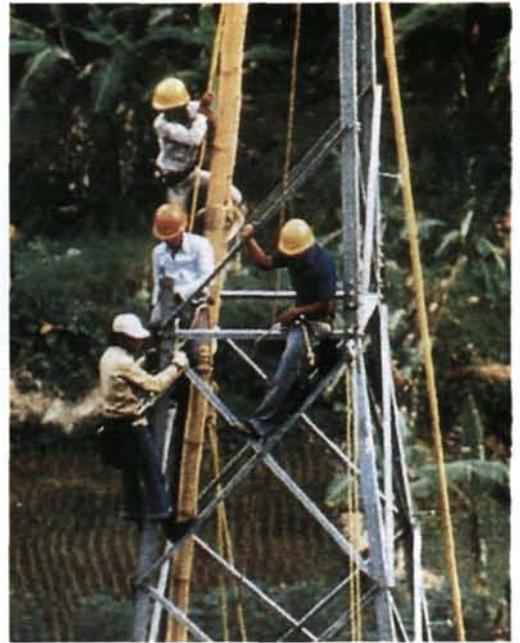
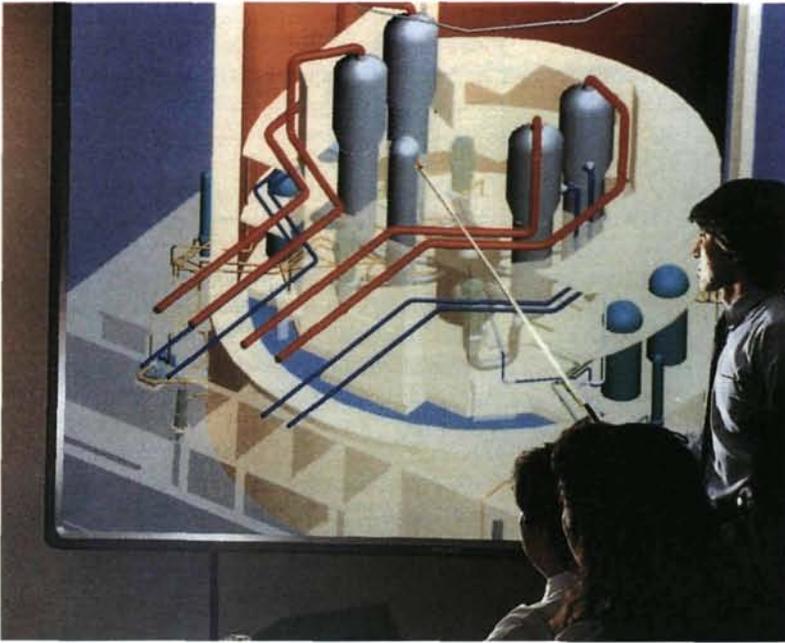
Dans la plupart des pays d'Asie, la consommation d'électricité par habitant est très inférieure à celle des pays industriels. A titre de comparaison, elle dépasse 10 000 kWh par an aux Etats-Unis, en Suède et au Canada, alors qu'elle était de 305 et 515 kWh en 1989 en Inde et en Chine, respectivement. Il est donc urgent de développer les réseaux électriques pour soutenir les économies nationales.

En Chine, pour alimenter la rapide croissance économique du pays (plus de 10% par an) des 10 dernières années, il a fallu plus que doubler la puissance installée qui atteignait ainsi 150 gigawatts (GWe) en 1991. Malgré cela, l'offre d'électricité est tombée bien en-dessous de la demande dans les régions côtières du pays qui connaissent un développement rapide. Il est prévu d'ajouter 12 à 15 GWe par an au réseau d'ici la fin du siècle, ce qui portera la puissance installée totale en Chine à quelque 260 GWe.

En Inde, la puissance installée a été augmentée d'environ 5 GWe par an entre 1985 et 1990. Néanmoins, le déficit de puissance installée, selon les estimations, dépassait 10 GWe en 1991, soit près de 21 milliards de kWh. Le plan économique du Gouvernement pour 1992-1997 prévoit qu'il faudra augmenter de 31 GWe la puissance installée du secteur public.

En Indonésie la capacité de production du parc a doublé au cours des 10 dernières années, mais il faudra de nouveau le doubler d'ici l'an 2000 pour répondre à la demande qui, selon les estimations, augmentera de 10% par an. Le pays devra installer 35 GWe de puissance supplémentaire d'ici à 2015.

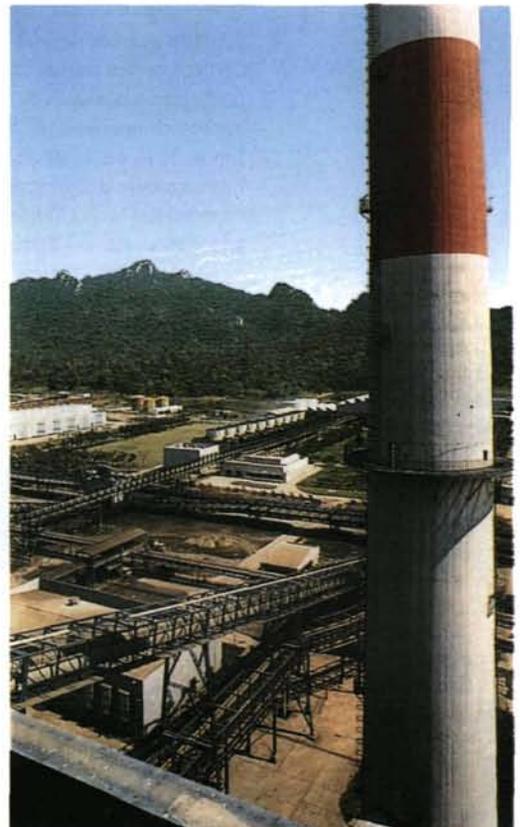
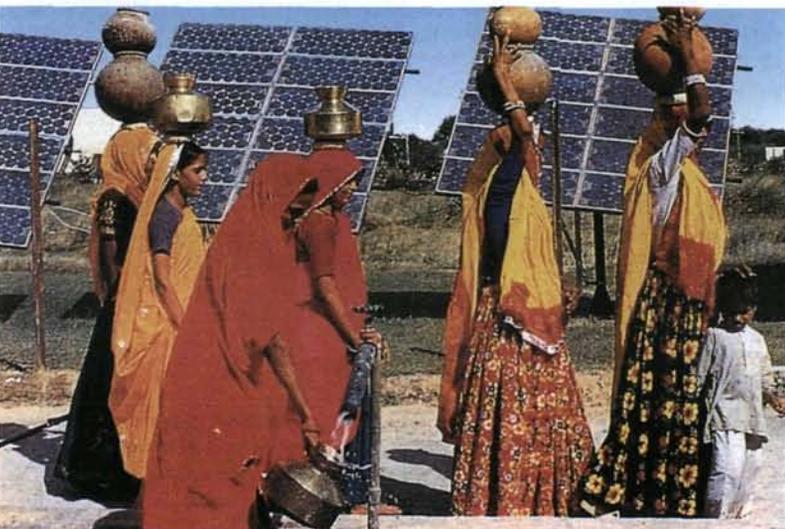
MM. Hu et Woite sont membres de la Division de l'énergie d'origine nucléaire de l'AIEA.



Pour répondre à la demande croissante d'électricité dans les pays d'Asie, l'énergie nucléaire est une des sources actuellement exploitées.

De gauche à droite: Des centrales nucléaires de conception nouvelle sont à l'étude au Japon; équipe d'entretien d'une ligne à haute tension en Indonésie; la centrale nucléaire Guangdong de Daya Bay, en Chine; collecteurs solaires dans un village indien; centrale au charbon en Thaïlande.

(Photos: Mitsubishi, EdF, PNUD, BAD, HKNIC)



En Malaisie, la consommation d'électricité a augmenté de 8% en 1989 et de 15% en 1990. La demande aura pratiquement triplé à la fin de la décennie passant, des 5 GWe actuels, à quelque 13 GWe.

En Thaïlande, la puissance installée a rapidement augmenté au cours des dernières années (5,6% en 1989, 17% en 1990), un supplément de 1 GWe étant nécessaire chaque année.

En République de Corée, la demande d'électricité a augmenté de 13 à 14% par an entre 1987 et 1990. On s'attend qu'elle augmente de 4,5 à 6% par an d'ici à 2006.

Pour l'ensemble de l'Asie, on estime que l'essor économique fera doubler la demande d'électricité au cours des années 90. Le complément de puissance installée jugé nécessaire chaque année en Asie est environ de 20 GWe par an, soit près de 200 GWe pour la prochaine décennie.

Limitations de l'offre énergétique

Actuellement, il existe en Asie un écart important entre l'offre et la demande d'énergie. Certains problèmes de tous ordres ont fait obstacle à la mise en œuvre des ambitieux projets de programmes énergétiques. En voici quelques-uns parmi les principaux.

Ressources. Plusieurs pays d'Asie, dont le Japon (le plus gros importateur mondial d'énergie) et la République de Corée, sont fortement tributaires de leurs importations de combustible. La situation difficile que ces pays ont connue au cours des crises du pétrole des années 70 a fortement influencé leurs politiques nationales de l'énergie. Pour s'assurer un approvisionnement à long terme en énergie, le Japon, la République de Corée et Taiwan, Chine, ont mis en œuvre des programmes d'équipement nucléo-énergétique bien étudiés et de longue haleine. Vu la croissance de sa demande intérieure, l'Indonésie deviendra peut-être un importateur net de pétrole vers la fin de la décennie. Ce pays envisage d'augmenter sa puissance installée de plus de 20 GWe d'ici à 2003; toutefois, considérant la réglementation nationale actuelle de la consommation de charbon (40 millions de tonnes par an), la puissance maximale fournie par les centrales au charbon sera limitée à 15 GWe. Le Gouvernement a fait faire des études qui montrent qu'un programme d'équipement nucléo-énergétique serait réalisable mais que l'option nucléaire ne serait pas la moins onéreuse pour le moment.

Protection de l'environnement. Les combustibles fossiles sont la principale source d'énergie électrique en Asie. La Chine et l'Inde, les deux plus grands consommateurs de charbon de la région, continueront de recourir à ce combustible pour assurer l'essentiel de leur production énergétique. L'emploi d'un combustible fossile implique d'importantes émissions de dioxyde de carbone, d'anhydride

sulfureux et d'oxydes d'azote. La Chine, le Japon et l'Inde se classent parmi les cinq pays du monde qui émettent le plus de CO₂ en chiffres absolus. Selon les estimations, les émissions de CO₂ en Asie pourraient augmenter de 30% d'ici à l'an 2000. Les rejets d'anhydride sulfureux et d'oxydes d'azote sont responsables d'une grave pollution qui a nui considérablement au développement économique et à la santé publique dans la région, d'où l'impérieuse nécessité de réduire progressivement la part des combustibles fossiles et d'adopter des technologies propres pour produire de l'électricité.

Transports et transmission. Les abondantes réserves de charbon que possèdent la Chine et l'Inde sont inégalement réparties sur le territoire de ces pays. La plupart des zones qui connaissent un développement rapide et où la consommation est intense se trouvent à de grandes distances des gisements de charbon. Bien qu'environ 40% de la capacité totale de transport ferroviaire de marchandises de la Chine soient consacrés au charbon, le réseau est insuffisant pour répondre aux besoins. Cette situation étrangle le développement économique des régions côtières du pays.

Les pertes au cours de la transmission et de la distribution de l'électricité ont sensiblement aggravé les pénuries d'énergie dans les pays d'Asie. Au Pakistan par exemple, 28% de l'électricité produite se perd de cette façon. En Inde, les pertes ont été environ de 23% en 1989-1990. Le transport de l'énergie électrique à longue distance à partir des centrales hydro-électriques ou des centrales au charbon situées à proximité des mines se heurte à des difficultés.

Financement. On estime à 200 GWe la puissance supplémentaire qu'il faut installer en Asie au cours des dix prochaines années. Cela représente un investissement d'au moins 500 milliards de dollars dans les réseaux électriques. Comme la plupart des projets d'équipement énergétique des pays d'Asie sont contrôlés par l'Etat, les gouvernements sont amenés à conclure, les uns après les autres, qu'ils n'ont plus les moyens de payer seuls la note. Il s'ensuit que plusieurs pays d'Asie, telles les Philippines et la Malaisie, favorisent la privatisation dans le secteur de l'énergie et encouragent le secteur privé à investir dans des projets d'équipement électrique. L'investissement direct de capitaux étrangers et les entreprises mixtes sont des formules de financement que recherchent aussi certains pays (la Chine par exemple) pour obtenir les capitaux nécessaires à la réalisation de projets de grande envergure et technologiquement avancés*.

* Divers aspects et problèmes du financement de projets nucléo-énergétiques dans les pays en développement sont examinés en détail dans une publication récente de l'AIEA intitulée «Financing Arrangements for Nuclear Power Projects in Developing Countries», Vienne (1993).

Expérience du nucléaire en Asie

Dans cette région, 70 centrales nucléaires étaient raccordées aux réseaux électriques et 21 étaient en construction à la fin de 1992. Les quatre réacteurs mis en chantier dans le monde en 1991-1992 sont situés au Japon et en République de Corée. En outre, tous les réacteurs (plus de 10) que l'on prévoit de mettre en chantier dans le monde en 1993 seront situés en Asie (*voir le tableau*).

L'équipement nucléo-énergétique de l'Asie peut être schématisé par groupes de pays, comme suit:

- Le premier groupe comprend le Japon, la République de Corée et Taiwan, Chine. Pour s'assurer l'énergie nécessaire et réduire leur dépendance à l'égard des combustibles fossiles importés, ces pays ont conçu des programmes d'énergie nucléaire cohérents et à long terme et les ont mis en œuvre avec succès. Au Japon, en République de Corée et à Taiwan, la part du nucléaire dans la production totale d'électricité atteignait en 1992 27,7%, 43,2% et 35,4%, respectivement. Dans une large mesure, les infrastructures industrielles ont été mises en place et le secteur acquiert progressivement son autonomie technologique dans le domaine de l'énergie nucléaire. La Corée devrait être technologiquement autonome à 95% lorsque les tranches 3 et 4 de Yonggwang seront raccordées au réseau en 1995. Sur le plan économique, des études montrent que l'énergie nucléaire coûte moins cher que les combustibles fossiles pour produire de l'électricité, au Japon, et qu'elle est compétitive au regard du charbon, en Corée.

- La Chine et l'Inde constituent le deuxième groupe. La forte croissance démographique et le développement économique accéléré appellent une augmentation substantielle de la puissance installée. Le recours massif aux centrales au charbon crée de graves problèmes de pollution dans de nombreux endroits. Ces pays ont adopté l'option nucléaire pour atténuer l'impact écologique et réduire la pénurie d'énergie. Les deux pays se sont dotés de compétences dans le domaine nucléaire à partir d'une technologie et de ressources autochtones et ils sont bien équipés pour continuer à développer leur secteur nucléo-électrique. Des études faites sur place montrent que l'énergie d'origine nucléaire est compétitive dans les zones industrielles éloignées des gisements de charbon exploitables à bon compte et actuellement accablées par la pollution de l'environnement. Kakrapar-1, dixième centrale nucléaire indienne, est maintenant en service. La plupart des réacteurs indiens sont à eau lourde sous pression (PHWR) et de conception nationale. En Chine, la première centrale nucléaire autochtone (Qinshan) a atteint son plein régime d'exploitation en août 1992. La première tranche de la centrale importée de Daya Bay a démarré en juillet 1993 et la mise en service de la seconde tranche est prévue pour 1994. Des projets de centrales existent pour plusieurs provinces de Chine.

- Le troisième groupe comprend les Philippines, le Pakistan et l'Iran. Les trois pays ont éprouvé des difficultés en réalisant leurs programmes nucléo-électriques. Le Pakistan possède un réacteur à eau lourde sous pression de 125 MWe vieux de plus de 20 ans et dont le bilan d'exploitation est assez médiocre. Aux Philippines, la centrale nucléaire de Bataan (réacteur à eau sous pression de 620 MWe) a été achevée en 1986, mais le Gouvernement a fait savoir qu'elle ne serait pas mise en service. En Iran, la construction d'une centrale nucléaire est en panne depuis longtemps. Les trois pays n'ont cependant pas renoncé à leur intention de s'équiper en nucléaire. La seconde centrale nucléaire du Pakistan (réacteur à eau sous pression de 300 MWe, fourni par la Chine) a été mise en chantier en août 1993. L'Iran négocie actuellement avec la Chine et la Russie l'acquisition de centrales nucléaires. Le Président des Philippines a demandé, en juillet 1993, qu'on lui présente un programme complet d'équipement nucléoélectrique.

- Dans le quatrième groupe se rangent l'Indonésie, la Thaïlande, la Malaisie, la République populaire démocratique de Corée, le Viet Nam, la Turquie et le Bangladesh. Tous leurs gouvernements ont annoncé leur intention de mettre en œuvre l'énergie nucléaire. En Indonésie s'achèvera en 1996 une étude de faisabilité pour une centrale de 600 MWe qui sera construite à Java, région très peuplée et en développement rapide. Cette première centrale nucléaire indonésienne serait mise en service en 2003. En Thaïlande, un avant-projet prévoyant six réacteurs totalisant 6 GWe doit être présenté au Gouvernement pour approbation, l'étude de rentabilité prévue devant durer trois ans, et la mise en service des deux premières tranches est fixée à 2006. En Turquie, l'Energie atomique du Canada (EACL) a présenté aux autorités un projet global de réacteur de 700 MWe pour le site d'Akkuyu.

Perspectives du nucléaire

Projets nucléo-électriques. La plupart des pays d'Asie font d'ambitieux projets visant à accroître sensiblement leur parc nucléo-électrique. Toutes les commandes les plus récentes de centrales nucléaires émanent de pays d'Asie.

Au Japon, l'énergie nucléaire est devenue une ressource rentable et stable et son rôle à long terme a été clairement défini. Les compagnies d'électricité japonaises ont annoncé un plan prévoyant la construction de dix nouvelles tranches dans les deux prochaines années. Dans un rapport, le Ministère du commerce et de l'industrie demande l'installation d'un complément de 40 GWe pour 2010, ce qui doublera la puissance installée nucléaire actuelle du Japon.

La République de Corée prévoit de construire 18 réacteurs nouveaux entre 1991 et 2006, ce qui portera la puissance installée nucléaire à 23 GWe.

**Le nucléaire
en Asie
à la fin de 1992**

Pays	Réacteurs en service		Réacteurs en construction		Proportion d'électricité nucléaire (%)	Réacteurs en projet		
	Nombre d'unités	Total MWe	Nombre d'unités	Total MWe		Nombre d'unités	Total MWe	Mise en service
Chine	1	288	2	1812	0,1	12	8400	2005
Inde	9	1593	5	1010	3,3	16	3100	2000
Indonésie						1	600	2003
Iran			2	2392			600-2600	2010
Japon	44	34 238	9	8129	27,7		72 500	2010
Corée, République de	9	7220	3	2550	43,2	27	23 000	2006
Malaisie								2002
Pakistan	1	125			1,2	2	425	1999
Philippines			1	620**			620-1500	2010
Thaïlande						2	2000	2006
Turquie						1	700	2000
Viet Nam							800-1200	2010
Total pour l'Asie*	70	48 354	22	16 513				
Total mondial	424	330 651	72	59 720	16,7			

* Y compris les six réacteurs de Taiwan, Chine, qui totalisent 4890 MWe (et assurent 35,4% de la production totale d'électricité).

** Mis sous cocon.

Sources: AIEA PRIS. Pour les réacteurs en projet, l'information provient de divers rapports sur les plans nationaux.

En Chine, il est évident que le nucléaire prend de l'importance dans le cadre de la stratégie nationale de développement énergétique. Jusqu'à présent, huit provinces se sont mises à la construction de centrales ou à l'étude de sites et de faisabilité pour de nouvelles installations. Les plans préliminaires pour le second volet de la centrale de Qinshan (deux réacteurs à eau sous pression de 600 MWe) ont été étudiés et approuvés en novembre 1992. Des négociations et des préparatifs avec des fournisseurs étrangers sont en cours pour le second volet du projet de Daya Bay (deux réacteurs à eau sous pression de 900 MWe). Un accord a été conclu entre la Chine et la Russie pour la construction de deux réacteurs VVER (1000 MWe chacun) à Liaoning. De son côté, la province de Jiangxi se prépare à ouvrir le chantier d'une centrale nucléaire de 600 MWe, tandis que l'île de Hainan propose de se doter de deux réacteurs à eau sous pression de 350 MWe.

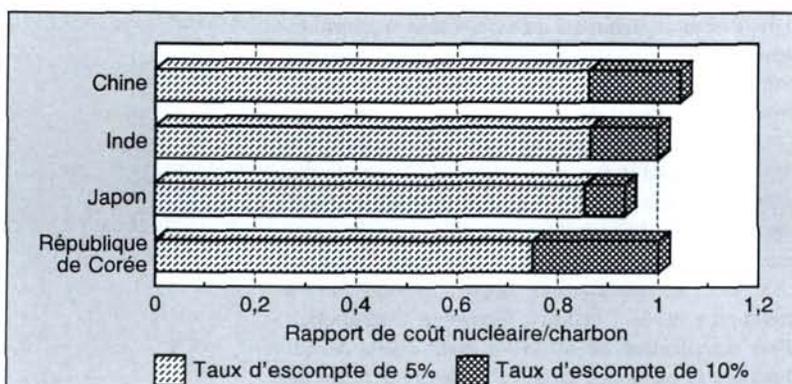
A Taiwan, Chine, la compagnie d'électricité a lancé des appels d'offre pour sa quatrième centrale nucléaire (deux réacteurs à eau légère de 1000 MWe), dont la construction devrait s'achever en l'an 2000.

L'Inde se propose de construire jusqu'à 15 réacteurs nouveaux au cours des dix prochaines années afin de remédier à la crise de l'énergie que connaît le pays. Si ses ressources budgétaires le lui permettent, le Pakistan envisage d'acheter à la Chine un deuxième réacteur à eau sous pression de 300 MWe. L'Indonésie a déclaré son intention de lancer un programme nucléo-énergétique dans le cadre de son plan à long terme, tandis que la Thaïlande étudie un projet prévoyant une puissance installée nucléaire de 6 GWe.

Compétitivité économique. La compétitivité des centrales nucléaires par rapport aux centrales classiques dépend de divers facteurs particuliers à chaque pays. Citons le prix des combustibles sur le marché intérieur, la protection de l'environnement et autres exigences réglementaires, et la rentabilité du capital ou le taux d'escompte.

L'énergie d'origine nucléaire est compétitive vis-à-vis de celle que fournissent les sources classiques dans les pays dotés de bons réseaux électriques et dépourvus de ressources énergétiques propres, tels le Japon et la République de Corée. Elle est également compétitive dans les régions à croissance économique rapide mais éloignées des grands gisements de charbon ou de pétrole ou de ressources hydrauliques exploitables à bon compte. C'est le cas des régions côtières de la Chine, de la partie occidentale et méridionale de l'Inde, et de quelques régions des pays des troisième et quatrième groupes dont on vient de parler. Les études faites dans quatre pays d'Asie (Chine, Inde, Japon et République de Corée) mon-

**Compétitivité
économique
comparée
de l'électricité
d'origine nucléaire
et de celle
produite à base
de charbon dans
les pays d'Asie**



Notes: Les hypothèses sont une durée utile prévue de 30 ans et un facteur de charge de 75%.
Source: Etude faite conjointement par l'AIEA, l'Agence internationale de l'énergie et l'Agence pour l'énergie nucléaire de l'Organisation de coopération et de développement économiques (1993).

trent que le nucléaire est, dans la plupart des cas, l'option la moins onéreuse en ce qui concerne les centrales en projet dont la mise en service est prévue vers l'an 2000.

Progrès technologiques. L'évolution du nucléaire dans les pays d'Asie favorise le progrès technologique des industries nucléaires nationales. Le premier réacteur de pointe à eau bouillante est en construction au Japon. Les réacteurs à eau lourde sous pression du type CANDU seront sensiblement perfectionnés grâce à leur adaptation en République de Corée. La Chine met au point son prototype AC de réacteur à eau sous pression de 600 MWe qui se distingue par un perfectionnement des fonctions et des caractéristiques passives de sûreté. L'Inde envisage d'utiliser le thorium pour produire de l'électricité vu ses ressources limitées en uranium. Considérant leurs réseaux électriques peu développés et l'insuffisance de leurs ressources en capitaux, nombre de pays d'Asie représentent un marché intéressant pour les modèles améliorés de réacteurs de petite et de moyenne puissance.

D'autre part, les surgénérateurs rapides sont activement étudiés en Asie dans la perspective d'une contribution à long terme du nucléaire. Le surgénérateur rapide pilote de Monju, au Japon, devrait atteindre pour la première fois la criticité en 1994. De son côté, l'Inde va examiner en détail et arrêter les plans définitifs d'un prototype de surgénérateur rapide de 500 MWe, dans un délai de deux ans. Quant à la Chine, elle vient de terminer les études techniques préparatoires en vue de la réalisation d'un surgénérateur rapide expérimental, du type piscine, de 65 MWt.

Etude des problèmes et des besoins

Du fait des gros investissements qu'exige le nucléaire, nombre de pays en développement qui ne disposent pas des capitaux nécessaires éprouvent des difficultés à mettre en œuvre leurs plans ambitieux d'équipement nucléo-électrique. Le financement est un facteur clé de l'expansion du nucléaire en Chine et en Inde. Plusieurs pays d'Asie s'efforcent d'ailleurs d'encourager les investissements privés et étrangers dans des centrales nucléaires.

Le degré de participation national dépend aussi de l'infrastructure industrielle du pays. Une forte participation de l'industrie nationale peut se traduire par des coûts initiaux élevés lorsqu'il s'agit d'un programme nucléaire restreint, mais peut amener une réduction des dépenses s'il s'agit d'un vaste programme nucléaire à long terme.

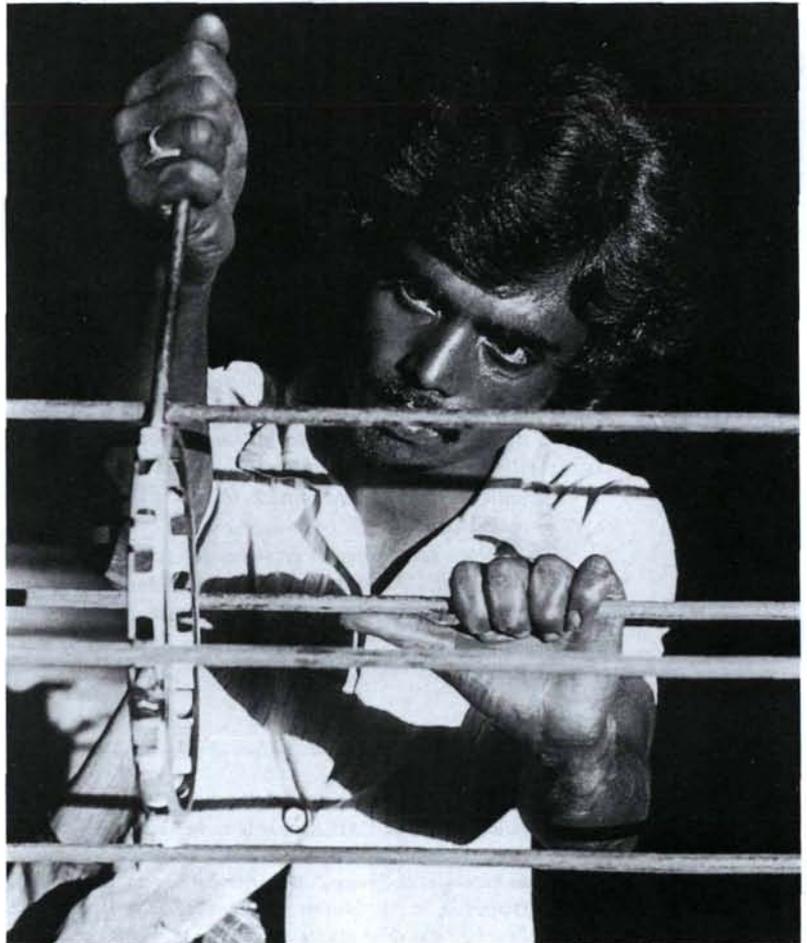
La mise en œuvre du nucléaire est très exigeante en ressources humaines au niveau de la technologie. Il faut disposer d'un personnel hautement qualifié pour la conception, la fabrication des matériels, la construction, la gestion et l'exploitation d'une centrale nucléaire si l'on veut assurer son bon fonctionnement, un haut degré de sûreté et sa compétiti-

tivité économique. Il faut également tenir compte d'autres facteurs, notamment le choix d'un site approprié et le stockage définitif des déchets radioactifs, deux sujets qui ont préoccupé l'opinion publique.

L'AIEA propose un large programme d'assistance aux pays qu'intéressent la planification de l'expansion des réseaux électriques, les études de faisabilité de projets nucléo-électriques, le choix des sites des centrales, la constitution des ressources humaines, la gestion des projets, l'étude technique des installations et l'évaluation de leur sûreté, par exemple. Plusieurs projets d'assistance technique ont été exécutés en Asie pour développer le nucléaire.

Au cours de la présente décennie, on pense que la croissance économique rapide de l'Asie se poursuivra, accompagnée d'une augmentation de la demande d'électricité. L'énergie nucléaire pourrait jouer un rôle de plus en plus important dans le développement durable de la région, avec des avantages certains sur le plan de l'écologie et de la sûreté de l'énergie. On estime que 90 à 100 tranches nucléaires pourraient être raccordées aux réseaux des pays d'Asie pour l'an 2000 et l'on prévoit que le nucléaire continuera de se développer à l'aube du prochain millénaire.

Technicien travaillant sur une ligne à haute tension au Bangladesh. (Photo: BAD)



Coopération régionale en Asie et dans le Pacifique: planification de l'énergie, de l'électricité et du nucléaire

Un programme de coopération technique de l'AIEA guide les pays bénéficiaires dans l'analyse de leurs options énergétiques

par J. Easey
et P. Molina

Depuis cinq ans, les pays de la région Asie et Pacifique étudient ensemble leurs situations énergétiques futures dans le cadre d'un programme de coopération de l'AIEA. Une série d'ateliers et de stages ont été organisés en vertu de l'Accord régional de coopération (RCA) pour la recherche, le développement et la formation dans le domaine de la science et de la technologie nucléaires, accord qui est entré en vigueur en 1972. Quinze pays d'Asie et du Pacifique s'y sont ralliés — Australie, Bangladesh, Chine, Inde, Indonésie, Japon, Malaisie, Mongolie, Pakistan, Philippines, République de Corée, Singapour, Sri Lanka, Thaïlande et Viet-Nam.

Au cours des dernières décennies, nombre d'activités de ce genre ont été déployées, principalement dans les domaines de l'agriculture, de l'industrie, de la médecine, de la radioprotection et de la science nucléaire fondamentale. En 1987, le programme s'est vu adjoindre un projet sur la planification de l'énergie et du nucléaire, dont l'objet principal était d'enseigner l'emploi de deux modèles de planification, à savoir le modèle d'analyse de la demande d'énergie (MAED) et le modèle viennois de planification automatique des systèmes (WASP). Initialement prévu pour une période de quatre ans, le projet s'est prolongé en fait jusqu'à la fin de 1992. En juillet 1993, les participants réunis à Djakarta ont recommandé de le prolonger encore.

Nous passerons ici en revue les activités menées au titre de l'Accord régional de coopération et celles qui ont été recommandées pour la phase suivante du projet.

M. Easey est coordonnateur de l'Accord régional de coopération (RCA) de l'AIEA pour la recherche, le développement et la formation dans le domaine de la science et de la technologie nucléaires, Département de la coopération technique, et M. Molina est membre de la Division de l'énergie d'origine nucléaire, AIEA.

Contexte économique et énergétique

Au cours des dix dernières années, les pays signataires de l'accord régional ainsi que quelques autres pays de la région ont connu une croissance économique beaucoup plus rapide que celle des autres régions du monde. Il en a résulté une amélioration des conditions de vie et, logiquement, une augmentation de la demande de produits et de services. Ce phénomène et d'autres facteurs encore ont contribué à accroître la demande d'énergie en général, et d'électricité en particulier, dans toute la région dont certains pays ont connu des taux de croissance annuels vraiment très élevés.

Les statistiques générales indiquent les étonnantes performances économiques des pays parties à l'accord régional mais ce qu'il faut considérer ce sont les chiffres par habitant (*voir les tableaux*). On constate alors de grandes différences entre ces divers pays. Le produit intérieur brut (PIB) par habitant, par exemple, varie entre 130 dollars environ (dollars des Etats-Unis de 1980) pour le Viet Nam à environ 13 000 dollars pour l'Australie et le Japon.

De même, la consommation d'énergie par habitant en 1991 varie considérablement d'un pays à l'autre. En haut de l'échelle se situent Singapour avec 6667 kg d'équivalent pétrole (kgep) et l'Australie avec 5033,5 kgep, tandis qu'à l'autre extrême on trouve le Bangladesh avec 77,4 kgep et le Viet Nam avec 148,4 kgep. En 1991, la moyenne pour les pays participants s'établissait à quelque 676 kgep, soit moins de la moitié de la moyenne mondiale qui était cette année-là de 1583 kgep.

La production d'électricité par habitant accusait aussi de fortes variations d'un pays à l'autre en 1991. Comparons par exemple l'Australie (8533 kWh) et le Japon (7129 kWh) avec le Bangladesh (67,1 kWh) et le Viet Nam (120 kWh). Il est intéressant de noter en passant les chiffres élevés pour Singapour (5725,4 kWh) et la Mongolie (1291,7 kWh). Il n'en reste pas moins que la moyenne de la consommation

d'électricité par habitant dans les pays participants était de 817,4 kWh, alors que la moyenne mondiale s'établissait à 2195 kWh en 1991.

Une des explications de l'impressionnante croissance économique de l'Asie pourrait être la configuration des échanges commerciaux à l'intérieur de la région. Leur volume ne cesse de croître et l'on pense qu'il dépassera celui du commerce avec les autres régions du monde dans l'avenir. La région y gagnera en autonomie. On prévoit que la croissance économique de l'Asie continuera pendant quelques années encore, ce qui influera beaucoup sur la demande d'énergie en général, et d'électricité en particulier.

Le développement économique à lui seul exigera un supplément d'énergie pour produire les biens et les services qui devraient normalement alimenter l'expansion du secteur des exportations. Il faudra aussi davantage d'énergie pour répondre aux besoins particuliers de la population.

On s'attend à ce que la proportion d'électricité dans la demande totale d'énergie augmente dans toute la région. Le même phénomène s'est produit dans les pays industriels. Nombre de pays d'Asie sont en voie d'industrialisation, ce qui appelle la construction d'usines modernes nouvelles qui consomment davantage d'électricité. De plus, la politique d'électrification multipliera les initiatives visant à amener le fluide dans les villages qui en sont encore privés. De ce fait, la consommation d'énergie par habitant tendra à son tour à augmenter à mesure que la population développera son équipement électroménager.

Quant à la demande, on sait que la région dispose de réserves d'énergie suffisantes pour y faire face. Le problème n'est cependant pas si simple. Premièrement, les ressources ne sont pas également réparties dans la région, ni même à l'intérieur d'un même pays. En outre, les principaux centres de consommation sont bien souvent situés loin du gîte des réserves. Le problème se complique encore dans les pays dont la situation géographique est particulière (insularité) ou dont les réseaux de transport sont insuffisants.

Ces circonstances expliquent la nécessité de planifier avec soin l'implantation des futures installations de production d'énergie et d'électricité.

Jusqu'à présent, les pays de la région s'y sont appliqués. Toutefois, il leur faudra redoubler d'efforts dans l'avenir, car les réserves d'énergie primaire se feront plus rares tandis que la demande continuera d'augmenter. En outre, les investissements dans le secteur énergétique auront à faire à la forte concurrence de ceux qu'exige le développement socio-économique général dans les domaines de la santé et de l'enseignement, par exemple. A cela s'ajoute la difficulté de trouver le juste équilibre entre l'offre et la demande d'énergie compte tenu de l'importance croissante des considérations écologiques.

En ce qui concerne l'électricité, toutes les chaînes de production devront être soigneusement évaluées,

Taux annuels moyens de croissance des pays parties au RCA (1980-1991)

Pourcents	Population	PIB 1980-1990	Consommation d'énergie	Production d'électricité
Australie	1,52	3,21	2,08	4,00
Bangladesh	2,56	3,45	5,95	11,60
Chine	1,48	8,73	4,49	7,63
Inde	2,07	5,74	5,09	9,74
Indonésie	2,00	4,70	3,94	11,28
Japon	0,55	4,25	2,30	4,41
République de Corée	1,27	8,71	6,56	11,78
Malaisie	2,65	5,95	7,40	9,96
Mongolie	2,78	6,05	2,49	7,59
Pakistan	3,27	6,15	6,33	11,21
Philippines	2,49	1,72	2,04	1,98
Singapour	1,15	6,98	4,88	8,31
Sri Lanka	1,49	4,25	2,76	6,66
Thaïlande	1,56	7,49	5,75	12,03
Viet Nam	2,18	4,54	0,19	6,89
Moyenne pour les pays RCA	1,80	5,33	3,97	6,53

Produit intérieur brut (PIB), consommation d'énergie et production d'électricité, par habitant, dans les pays parties au RCA

	PIB (dollars de 1980)		Consommation d'énergie (kg d'équivalent pétrole)		Production d'électricité (kWh)	
	1980	1990	1980	1991	1980	1991
Australie	10 674	12 595	4 735	5 033	6 542	8 533
Bangladesh	171	186	54	774	29	73
Chine	293	584	473	652	288	549
Inde	251	356	239	329	161	358
Indonésie	517	670	422	519	90	233
Japon	9 068	13 006	2 953	3 573	4 708	7 129
République de Corée	1 637	3 318	1 156	2 024	997	2 956
Malaisie	1 779	2 439	760	1 252	697	1 486
Mongolie	835	1 142	1 424	1 380	781	1 292
Pakistan	328	431	222	306	172	389
Philippines	724	669	457	435	356	337
Singapour	4 853	8 494	4 478	6 667	2 700	5 725
Sri Lanka	279	364	242	278	111	192
Thaïlande	688	1 211	522	813	310	913
Viet Nam	105	132	184	148	73	120
Moyenne pour les pays RCA	842	1 183	536	676	496	817

Note: Chiffres arrondis.

surtout parce que l'on s'attend à voir augmenter sa part de la production totale d'énergie. Il conviendrait en particulier d'étudier l'impact écologique des installations qui brûlent des combustibles fossiles. Quant aux sources d'énergie renouvelables et à l'énergie nucléaire, bien qu'on les juge généralement plus douces pour l'environnement, elles devraient faire l'objet d'une évaluation portant sur leurs exigences industrielles, les combustibles nécessaires à la fabrication de leurs composants et à leur construction, au traitement et à la fabrication de leurs propres combustibles et à l'élimination des déchets. En

**Réacteurs
de puissance
dans les pays
parties au RCA**

	Réacteurs de puissance				Part nucléaire de l'électricité totale		Durée d'exploitation	
	En exploitation		En construction		TWh électriques	% du total	Années	Mois
	Nombre d'unités	Puissance nette en MWe	Nombre d'unités	Puissance nette en MWe				
Total mondial	424	330 651	72	59 720	2027,4	16,7	6479	9
Pays RCA:								
Chine	1	288	2	1 812	0,5	0,1	1	1
Inde	9	1 593	5	1 010	5,6	3,3	101	3
Japon	44	34 238	9	8 129	217,0	27,7	556	11
République de Corée	9	7 220	3	2 520	56,5	43,2	72	1
Pakistan	1	125	0	0	0,5	1,2	21	3
Total RCA	64	43 464	19	13 191	280,1	17,2	752	7
Pourcentage du total mondial	15,1	13,1	26,4	22,6	13,8			11,6

d'autres termes, ces évaluations comparées devront porter non seulement sur le combustible consommé par l'installation, mais aussi sur tous les aspects de l'emploi de ce combustible, et aussi sur la construction même de l'installation. A cet égard, une centrale nucléaire présente l'avantage de ne rejeter pratiquement rien dans l'atmosphère, comparée à une centrale à combustible fossile. En revanche, l'élimination du combustible nucléaire épuisé pose des problèmes.

Actuellement, une bonne part de l'électricité produite dans les pays participants à l'accord régional de coopération est assurée par des centrales à hydrocarbures et il en sera de même dans l'avenir. Pour le moment, les centrales nucléaires ne représentent environ que 10% de la puissance installée totale de la région et près de 12% de la production totale d'électricité. Cela est dû en grande partie à la puissance installée nucléaire du Japon et de la République de Corée (voir le tableau). Cinq pays participants seulement exploitent des centrales

nucléo-électriques (Chine, Inde, Japon, Pakistan et République de Corée). A la fin de 1992, ces pays exploitaient 64 réacteurs d'une puissance totale nette de 43 464 MWe, soit 13% environ du total mondial. Ces mêmes pays ont mis par ailleurs en chantier 19 réacteurs d'une puissance totale nette de 13 191 MWe. Si ces installations sont mises en service dans les délais prévus, elles porteront la part de ces pays à quelque 15% de la capacité mondiale en l'an 2000.

Au-delà de cette date, cette part continuera d'augmenter par suite de l'adoption de l'option nucléaire dans quelques autres pays. L'Indonésie, par exemple, procède actuellement à l'étude de faisabilité d'un projet de centrale nucléaire dont la mise en service est prévue pour 2005. Des études analogues seront probablement entreprises par d'autres pays (voir l'article de ce bulletin sur ce sujet).

Les tendances actuelles donnent à penser que l'énergie d'origine nucléaire apportera certainement une importante contribution au développement des

**Estimations de
la consommation
mondiale
d'énergie,
d'électricité
et d'énergie
d'origine nucléaire**

Région	1992			2000 (estimation)			2010 (estimation)		
	Energie totale (EJ)	Part de l'électricité (%)	Part nucléaire de l'électricité (%)	Energie totale (EJ)	Part de l'électricité (%)	Part nucléaire de l'électricité (%)	Energie totale (EJ)	Part de l'électricité (%)	Part nucléaire de l'électricité (%)
Amérique du Nord	92,1	38,2	7,3	94-95	40-43	7,2-7,3	95-99	43-50	7,3-7,4
Amérique latine	23,7	27,5	0,5	30-32	30-31	1,0-1,1	40-45	35-36	1,0-1,2
Europe occidentale	60,2	38,8	11,9	63-64	42-43	12	66-68	47-50	10-13
Europe orientale	70,9	29,2	3,5	72-73	32-34	4,3-5,1	73-76	35-40	5,2-7,5
Afrique	15,5	20,8	0,6	20-21	21-22	0,5	28-30	22-23	0,4-1,0
Moyen-Orient et Asie du Sud	27,3	21,5	0,2	34-35	24	0,5-0,7	45-49	27-28	0,5-0,9
Asie du Sud-Est et Pacifique	13,6	24,4		17-18	27		23-25	31-32	0,2-0,8
Extrême-Orient	62,7	30,6	4,7	73-76	33-34	5,8-6,5	90-98	35-38	6,1-7,8
Total mondial	366,0	32,1	5,3	403-414	34-35	5,5-5,8	460-490	37-40	5,2-6,4

Source: Collection Données de référence 1 de l'AIEA (Juillet 1993).

pays participants. Il faudra cependant veiller à soigner la planification tant de la construction des centrales que de leur exploitation et de leur sûreté ultérieures. Pour cela, les décisions devront être prises en temps utile. La planification revêt une importance particulière lorsqu'il s'agit de connecter une première centrale nucléaire à un réseau.

Le projet RCA de planification de l'énergie

Approuvé en 1987, ce projet s'inscrit dans le cadre du programme régional de coopération.

Il a essentiellement pour objet de stimuler la coopération régionale en matière de planification de l'énergie et de l'électricité nucléaires en familiarisant les pays parties à l'accord avec les modèles informatiques MAED et WASP, de l'AIEA. Des ateliers, des cours et autres activités ont été organisés à cette fin.

Ateliers. Le premier a eu lieu à Djakarta, Indonésie, du 7 au 11 décembre 1987 et s'est occupé avant tout du modèle WASP. Il visait principalement l'échange d'informations et d'expériences entre les divers pays concernant l'application du modèle à la planification du développement des réseaux électriques, y compris de l'énergie d'origine nucléaire. Il cherchait aussi à déterminer s'il fallait apporter des améliorations à la méthode WASP pour mieux l'adapter aux besoins des pays intéressés.

Trois autres ateliers lui ont fait suite: le premier, réuni à Kuala Lumpur, Malaisie, du 5 au 9 décembre 1988 a traité simultanément des modèles MAED et WASP; les deux autres, à Beijing, Chine, du 4 au 8 septembre 1989, et à Daejon, République de Corée, du 27 au 31 août 1990, ont discuté en plus de l'importance des problèmes écologiques liés à la planification de l'énergie et du parc électrique.

A chacun de ces ateliers, les participants ont exposé la situation de l'énergie, de l'électricité et de l'énergie d'origine nucléaire dans leurs pays respectifs. Ils ont ainsi pu échanger des données concrètes qui leur ont permis de dégager ensemble les principaux problèmes et de recommander les dispositions à prendre. Ils ont estimé que les modèles MAED et WASP étaient d'excellents outils pour planifier et ils ont recommandé que l'on organise des cours régionaux de formation spécialisée à l'intention des experts de la région.

Cours de formation. Deux séries de cours régionaux ont été organisées dans le cadre du projet RCA.

La première série, issue des recommandations des ateliers, a porté sur la planification du développement des réseaux électriques. Le premier cours s'est tenu au Centre pour le développement de l'Asie et du Pacifique, à Kuala Lumpur, Malaisie, invité par le Gouvernement de la Malaisie et par le Centre, avec la participation financière de la Banque asiatique de développement (BAD). Il bénéficia aussi de l'appui de la Banque mondiale (BIRD) et de la

Commission économique et sociale des Nations Unies pour l'Asie et le Pacifique (CESAP). Le second cours a eu lieu dans les locaux de la Compagnie des eaux et de l'électricité de Lahore, Pakistan, sous les auspices du Gouvernement du Pakistan et de la Commission de l'énergie atomique de ce pays, avec la contribution financière de la Banque asiatique. Il a également bénéficié de l'appui de la CESAP et du Gouvernement du Canada par le biais d'un projet de l'Agence canadienne pour le développement international exécuté pour le Pakistan par ACRES International Ltd.

Ces cours ont insisté en particulier sur les rapports entre la planification de l'énergie, y compris de la production d'électricité, et d'autres secteurs de l'économie. De plus, les participants ont été formés à l'application de la méthodologie de l'AIEA pour la planification de l'expansion des réseaux électriques, et du programme informatique WASP-III, dans sa version pour ordinateurs individuels. Lors de chaque cours, des équipes de deux ou trois participants d'un même pays ont présenté des monographies fondées sur leurs données nationales. Des exposés ont été faits par des spécialistes de pays de la région et d'ailleurs, et aussi de la BAD, de la CESAP, de la BIRD et de l'AIEA. En tout, 58 planificateurs de l'énergie et des réseaux électriques venant de dix pays RCA ont assisté à ces cours.

La seconde série de cours a été organisée grâce à une contribution spéciale de la République de Corée. Le thème principal était la planification et l'exécution des projets nucléo-électriques. Ces cours de trois semaines, organisés entre 1988 et 1991 par l'Institut de recherche sur l'énergie atomique de Corée, à Daejon, ont porté notamment sur une série de sujets précis tirés de l'expérience coréenne. Au total, 64 spécialistes, dont 54 venant de 11 pays RCA, ont assisté à ces cours. La plupart d'entre eux avaient une grande expérience de la science et de la technologie nucléaires. Ces cours visaient avant tout à enseigner aux participants des compétences et des méthodes pratiques concernant la gestion des centrales nucléaires, depuis les études de faisabilité et l'examen des offres jusqu'à l'exploitation industrielle. Le cours final a porté plus spécialement sur l'organisation, l'infrastructure industrielle et la constitution du personnel, composantes essentielles pour se lancer dans un programme d'équipement nucléo-électrique.

La plupart des enseignants ont été fournis par la République de Corée; il s'agissait de spécialistes de l'Institut de recherche sur l'énergie atomique et de divers autres organismes tels que la Compagnie d'électricité de Corée, la Société coréenne d'ingénierie électrique, la Société coréenne de construction d'industries lourdes, et les universités. Lors de chaque cours, des débats ont eu lieu sur des thèmes particuliers pour mettre en lumière l'expérience acquise avec différentes approches de la planification de programmes nucléo-énergétiques. Il y eut aussi

des visites de sites nucléaires et associés et des démonstrations pratiques de technologie, notamment de simulateurs de centrales.

Suite du projet

Lors d'une réunion tenue en juillet 1993, les participants au projet RCA ont examiné les besoins et les orientations futurs. Ils étaient les hôtes du Gouvernement indonésien et la réunion était organisée par l'Agence nationale pour l'énergie atomique, à son site de Pasar Jumat. Y ont assisté les coordonnateurs nationaux représentant l'Australie, le Bangladesh, la Chine, l'Inde, l'Indonésie, la Malaisie, la Mongolie, le Pakistan, les Philippines, la République de Corée, le Sri Lanka, la Thaïlande et le Viet Nam.

Passant en revue le projet, ils ont conclu d'un commun accord que sa première phase était très utile en ce qu'elle avait permis de pratiquer la méthodologie WASP et de procéder à un échange régional de l'expérience acquise en matière de planification de l'énergie, de la production d'électricité et du nucléaire. Ils ont estimé que cet apport à leurs moyens d'analyse devait être exploité plus à fond sur le plan national et qu'il fallait pour cela continuer de former des cadres selon le principe de la «formation des formateurs» et améliorer la qualité de l'information contenue dans les bases de données nationales de façon à obtenir des résultats justes. Ils ont aussi pensé que le projet pourrait contribuer positivement à l'élaboration de stratégies efficaces

pour la mise en œuvre de programmes nucléo-électriques.

Les coordonnateurs nationaux ont recommandé de prolonger le projet de cinq ans tout en précisant deux objectifs techniques pour la coopération dans l'avenir:

- Améliorer la fiabilité et la qualité des méthodes de projection, de planification et d'analyse dans la région en ce qui concerne les besoins futurs en énergie et en électricité et leur impact.
- Faciliter la mise en œuvre des programmes nationaux d'équipement nucléo-électrique en groupant et en analysant l'information sur les stratégies efficaces appliquées par les pays parties à l'accord.

Pendant la présente décennie, et au-delà, ces pays devront continuer de renforcer leurs moyens de production d'électricité. Il est, et sera toujours, de la plus haute importance d'assurer une planification bien conçue. Le projet RCA ne manquera pas de faciliter le processus d'analyse et d'évaluation nécessaire à cette fin.



Une équipe examine le plan panoramique de la première centrale nucléaire de la République de Corée, à Kori, en 1974. Le pays possède aujourd'hui neuf réacteurs qui assurent plus de 40% de la production d'électricité du pays.

Stratégies de l'énergie et électricité en Amérique latine et dans les Caraïbes: soutenir le développement

Développer le nucléaire au cours des prochaines décennies pourrait aider à répondre à la demande croissante d'électricité dans la région

L'Amérique latine et les Caraïbes représentent 8% de la population de la planète et consomment environ 6% de la production mondiale d'énergie primaire. Au cours des prochaines décennies, cette région, comme la plupart des régions en développement du monde, devra faire face à une demande croissante d'énergie, en particulier d'électricité.

Le besoin d'énergie dans l'avenir dépendra d'un certain nombre de facteurs dont les principaux seront la croissance démographique et l'évolution des modes de vie. La seule croissance démographique fera augmenter la demande d'énergie même si la consommation par habitant, actuellement relativement faible, demeure au même niveau qu'aujourd'hui. Il est fort probable que le processus d'urbanisation se maintiendra autour des mégapoles telles que Mexico, São Paulo, Rio de Janeiro, Buenos Aires et Bogotá. Il en résultera un accroissement de la demande d'énergie, notamment d'électricité, ainsi qu'une aggravation des problèmes écologiques qui exigera des politiques énergétiques plus efficaces et plus saines pour l'environnement.

Etant donné que l'intensité énergétique de la région, c'est-à-dire la consommation d'énergie par unité de produit intérieur brut (PIB), est relativement forte, il y a de bonnes possibilités d'améliorer le rendement de l'énergie aussi bien dans le secteur industriel que dans le secteur résidentiel. Les progrès technologiques et la discipline devraient permettre de faire des économies sensibles. Or, comme le PIB a une composante énergétique assez forte et que les changements structurels demanderont du temps, la concentration d'énergie se maintiendra ou même

continuera à croître lentement même si l'on met en œuvre des programmes visant l'amélioration des rendements de l'énergie et sa conservation. L'amélioration des rendements exige d'ailleurs des investissements qu'il pourrait être difficile de réaliser. Comme toutes les autres régions en développement du monde, la région ne dispose en effet que de ressources financières limitées lourdement grevées par le développement économique et social et le remboursement des emprunts.

C'est pourquoi il faut s'attendre que la consommation d'énergie primaire de la région continue d'augmenter plus rapidement que la moyenne du reste du monde. De plus, la demande d'énergie d'origine industrielle va augmenter plus rapidement puisque celle-ci remplacera progressivement les autres sources d'énergie. Les scénarios élaborés par le Conseil mondial de l'énergie (CME) montrent que la consommation d'énergie primaire de l'Amérique latine et des Caraïbes augmentera d'un facteur de 1,25 à 1,7 entre 1990 et 2000, selon la croissance économique et démographique et le succès relatif des programmes éventuels d'amélioration des rendements et de gestion de la demande. Entre 2000 et 2015, la consommation d'énergie de la région devrait doubler sinon tripler, d'après les deux scénarios du CME (voir le tableau).

Dans le passé, la demande d'électricité a augmenté plus rapidement dans la région que la demande totale d'énergie primaire. Cette tendance semble devoir se maintenir du fait du rythme rapide d'urbanisation et d'industrialisation. La consommation moyenne d'électricité par habitant est plutôt faible comparée à celle du reste du monde. La demande d'électricité est loin de son maximum dans le secteur résidentiel. L'électrification des campagnes sera nécessaire à l'amélioration de la qualité de la vie et exigera le développement de la capacité des réseaux au niveau de la production, du transport et de la distribution. L'évolution structurelle du secteur industriel favorisera certainement la mise au

par E. Bertel
et P. Molina

Mme Bertel et M. Molina sont membres de la Division de l'énergie d'origine nucléaire, à l'AIEA. Le présent article reprend un mémoire présenté à la Conférence de l'énergie pour l'Amérique latine et les Caraïbes (ENERLAC '93) réunie à Santa Fé de Bogotá, Colombie, du 15 au 18 juin 1993, dont une synthèse est donnée en fin d'article.

	1995	2000	2010	2015
Population totale (millions)	460-507	505-560	560-625	632-775
Produit intérieur brut (milliards de dollars de 1980)	861-1075	995-1465	1925-2150	1810-3730
PIB <i>par habitant</i> (dollars de 1980)	1801-2337	1949-2960	2072-3839	2335-5696
Consommation d'énergie primaire (millions de tep)	417-495	466-660	640-965	826-1830
Consommation d'énergie primaire <i>par habitant</i> (kgep)	872-1076	941-1333	1075-1661	1307-2607

Notes: tep = tonne d'équivalent pétrole; kgep = kilogrammes d'équivalent pétrole.

Résumé des scénarios du CME pour l'Amérique latine et les Caraïbes

point de technologies de pointe et de modes de production modernes qui consommeront plus d'électricité que les procédés traditionnels.

Même si la consommation moyenne d'électricité par habitant reste ce qu'elle est actuellement, la croissance démographique à elle seule créera un besoin supplémentaire d'environ 60 terawatts-heures (TWh) par an à l'aube du prochain millénaire. Or, il est fort probable que cette consommation aura tendance à croître, à supposer même qu'elle reste très inférieure au niveau actuel de celle des régions industrielles du monde. On peut alors s'attendre à un doublement de la consommation totale d'électricité de la région au cours des dix à quinze prochaines années, pour atteindre plus de 1000 TWh par an pendant la première décennie du 21^{ème} siècle. Par conséquent, le secteur électrique devra accroître considérablement sa puissance installée, même si les mesures d'amélioration du rendement de l'énergie et la gestion de la demande sont efficaces. Dans ce contexte, notons que les investissements envisagés dans les années 80 pour développer les réseaux électriques de la région n'ont pu avoir lieu à cause du manque de fonds. Le rattrapage nécessaire ne fera que rendre plus pressante la nécessité de construire de nouvelles centrales.

Considérations écologiques

L'expansion des réseaux électriques d'Amérique latine et des Caraïbes est une bonne occasion de mettre au point des technologies énergétiques plus douces pour l'environnement. Quelques pays de la région ont déjà opté dans une certaine mesure pour l'énergie nucléaire. Les ressources naturelles, les connaissances scientifiques et l'infrastructure industrielle existent et pourraient être améliorées en vue d'un développement du nucléaire en tant que moyen d'assurer un approvisionnement durable.

S'ils bénéficient des derniers progrès de la technique, les principaux cycles du combustible pour la production d'électricité peuvent tous assurer cette production sans grand risque pour la santé publique et l'environnement. Il faut néanmoins que les options soient soigneusement évaluées et mises en œuvre compte tenu de leur impact global pendant tous les cycles du combustible.

Les centrales à combustibles fossiles libèrent dans l'atmosphère des oxydes d'azote, de l'anhydride sulfureux, du dioxyde de carbone et des aérosols solides, et rejettent de l'eau, des déchets solides et autres charges nuisibles à la santé et l'environnement. Quant aux sources d'énergie renouvelables et à l'énergie nucléaire, les opérations industrielles associées et les combustibles fossiles utilisés pour la fabrication des composants et la construction des centrales et pour les opérations du cycle du combustible peuvent avoir des effets analogues, quoique généralement moindres, sur l'environnement. L'énergie nucléaire implique aussi des problèmes de sûreté et de gestion de déchets radioactifs. Toutes ces sources de pollution doivent être surveillées, réduites le plus possible et globalement évaluées pour les différentes options.

Dans la région qui nous occupe, comme dans les autres parties du monde, les données écologiques ainsi que l'optimisation technique et économique seront les principaux paramètres à retenir pour l'élaboration et la mise en œuvre des stratégies visant une offre durable d'électricité. La sûreté d'approvisionnement exige la mise en valeur des sources d'énergie locales, nationales ou régionales ainsi qu'un effort pour remplacer le pétrole par le charbon, le gaz naturel, l'énergie nucléaire et les sources d'énergie renouvelables. Le remplacement des combustibles à forte teneur en carbone, tels le charbon et autres combustibles solides, par des combustibles à faible teneur, tels le gaz ou les sources d'énergie non fossile telle l'énergie nucléaire, contribuera à réduire les émissions de gaz à effet de serre par le secteur de l'électricité.

A noter aussi que la substitution de l'électricité à d'autres formes d'énergie réduit généralement la consommation d'énergie, ce qui facilite, dans l'ensemble, la gestion et la conservation des ressources naturelles. En d'autres termes, l'augmentation de la part de l'électricité dans la consommation finale peut se traduire par une réduction de la consommation totale d'énergie. On peut y parvenir tout en maintenant le même niveau d'activité économique et en améliorant les conditions d'existence, vu le rendement élevé de l'électricité, en particulier dans le secteur industriel. De plus, l'électricité est généralement propre et sûre de sorte qu'en l'utilisant de préférence à d'autres sources d'énergie on peut diminuer les effets sanitaires et écologiques de la consommation d'énergie.

L'offre d'électricité en Amérique latine

L'énergie hydraulique est la principale source d'électricité en Amérique latine et dans les Caraïbes. Elle représente plus de 66% de la production totale et continuera de jouer un rôle prépondérant, car c'est une source sûre pour la région. Toutefois, ses possibilités d'expansion sont limitées. Parmi les contraintes, citons les préoccupations écologiques

Consommation d'énergie d'origine nucléaire et d'électricité en Amérique latine et dans les Caraïbes

Argentine. Deux tranches nucléaires sont en exploitation, l'une à Atucha et l'autre à Embalse; les deux réacteurs sont à eau lourde sous pression. Celui d'Atucha, d'une puissance de 350 MWe, a été connecté au réseau en 1974. Celui d'Embalse, de 650 MWe, est entré en exploitation en 1984. Les deux réacteurs sont exploités par la Commission argentine de l'énergie nucléaire et ont été importés, le premier d'Allemagne et le second du Canada. En 1992, les deux centrales ont produit 6,6 TWh d'électricité, soit 14% de la production du pays. Un troisième réacteur est en construction sur le site d'Atucha. Atucha-2, de 600 MWe, est également un réacteur à eau lourde sous pression importé d'Allemagne et sa mise en exploitation industrielle est prévue pour le début de 1995.

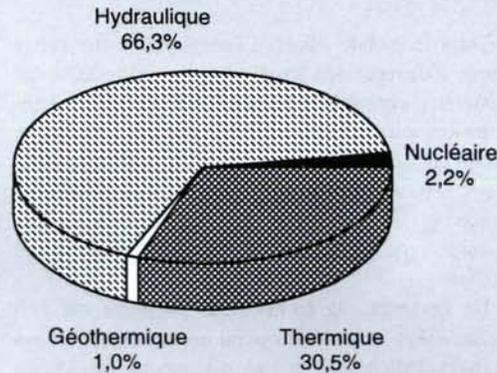
Brésil. Une unité de 630 MWe importée des Etats-Unis, Angra-1, est en service. En 1992, ce réacteur produisait moins de 1% de la consommation d'électricité du pays. La seconde unité, Angra-2, est un réacteur de 1250 MWe également à eau sous pression, importé d'Allemagne. Actuellement en construction, sa mise en exploitation industrielle est prévue pour la fin des années 90.

Mexique. La première tranche de Laguna Verde, réacteur à eau bouillante de 650 MWe importé des Etats-Unis, a été mise en service en 1990. En 1992, il a produit 4 TWh, soit près de 4%

de l'électricité consommée dans le pays. Un second réacteur du même type est en construction sur le même site et doit entrer en service en 1994.

Cuba. Deux réacteurs à eau sous pression de 400 MWe (VVER-440) importés de l'ex-Union soviétique sont en chantier depuis le milieu des années 80 et leur mise en service est prévue pour le milieu des années 90.

Source de l'électricité consommée



Source: Energy Statistics, OLADE, SIEE Version n° 4, Juillet 1992.

que suscitent les grands barrages et les effets locaux des petites centrales hydro-électriques, ainsi que les coûts et les inconvénients pour l'environnement du transport de l'électricité entre les lieux favorables à l'implantation d'une centrale et les consommateurs des zones industrielles et urbaines. Par ailleurs, les installations hydro-électriques nécessitent de gros investissements qui peuvent excéder les moyens financiers dont disposent la plupart des pays de la région.

Les centrales à combustibles fossiles —charbon ou gaz—sont technologiquement bien au point et d'une rentabilité compétitive. Les préoccupations croissantes que suscite l'impact écologique de la consommation de combustibles fossiles ont amené à étudier des techniques de pointe visant à réduire la pollution, qui améliorent les rendements et, de ce fait, limitent les émissions de dioxyde de carbone et autres effluents par unité d'électricité produite. Des progrès notables ont été faits. Ces techniques sont déjà appliquées dans quelques pays d'Amérique latine et pourraient se généraliser dans la région si on s'en occupait en priorité.

L'énergie géothermique fournit 1% de l'électricité de la région. La biomasse pourrait présenter de l'intérêt dans l'avenir. Ses possibilités pour produire

de l'électricité sont limitées et les effets écologiques de la combustion de composés organiques sont loin d'être négligeables, mais cette option pourrait acquérir de l'importance dans la région. Cela est particulièrement vrai dans l'espace rural et dans les grandes villes où elle pourrait présenter des avantages secondaires en facilitant, par exemple, la gestion et l'évacuation en continu des ordures ménagères. Les autres sources renouvelables, telle l'énergie photovoltaïque ou éolienne, ne pourront probablement pas contribuer sensiblement à la production d'électricité de la région avant une vingtaine d'années car leurs techniques exigent encore une longue mise au point avant de pouvoir faire la preuve de leur utilisation industrielle et de leur compétitivité économique.

L'énergie nucléaire compte pour environ 2% dans la production d'électricité de la région. La technologie y est encore à ses débuts. Quatre pays seulement — Argentine, Brésil, Cuba et Mexique — possèdent des centrales nucléaires en exploitation ou en construction (voir l'encadré).

La production d'uranium de la région est encore faible à cause de la situation actuelle du marché. L'Argentine et le Brésil sont les deux seuls pays qui continuent d'exploiter leurs ressources. Les gise-

ments connus et à découvrir dans la région n'en sont pas moins importants et plus de dix pays se sont lancés dans la prospection. L'Argentine, le Brésil et le Mexique ont entrepris quelques activités relevant de l'industrie du cycle du combustible nucléaire. Il s'agit principalement de l'extraction de l'uranium et du traitement des minerais, de la conversion et de la fabrication du combustible, de services d'enrichissement et de la production d'eau lourde. Cette infrastructure industrielle en place ainsi que les travaux entrepris dans d'autres secteurs de la recherche et de la science nucléaires pourraient être le point de départ d'un nouvel essor du nucléaire dans la région.

Perspectives de l'énergie nucléaire

Dans le monde entier, l'énergie nucléaire est la source d'énergie non fossile la plus évidente et qui puisse être exploitée à grande échelle pour produire de l'électricité et soit compétitive pour assurer la charge de base. L'électricité nucléaire est compétitive et le sera plus encore lorsque le coût de la protection de l'environnement sera inclus dans les prix de revient de l'électricité à base de combustibles fossiles.

En revanche, la technologie nucléaire est exigeante; elle a été mise au point essentiellement dans les pays industriels ce qui n'empêche pas qu'un certain nombre de pays en développement exploitent déjà des centrales nucléaires et préparent des programmes nucléo-électriques. Les questions de sûreté et de gestion des déchets radioactifs suscitent des inquiétudes qu'il faut apaiser, car l'acceptation par le public est une condition préalable de la mise en œuvre de programmes nucléo-électriques bien conçus. Les bureaux d'études mettent au point des réacteurs perfectionnés grâce à la vaste expérience acquise pendant l'exploitation des réacteurs de la génération actuelle. De plus, nul doute que les centrales nucléaires de la nouvelle génération seront mieux adaptées aux besoins des pays en développement du fait notamment qu'elles seront de plus petite taille et plus faciles à exploiter et à entretenir.

En Amérique latine et dans les Caraïbes, le développement du nucléaire contribuerait à garantir la fourniture d'électricité, à perfectionner encore les techniques de pointe, et à mettre au point des stratégies énergétiques moins nuisibles à l'environnement. Comme l'uranium naturel et les services du cycle du combustible s'obtiendraient dans la région, l'expansion du nucléaire permettrait à celle-ci de continuer ses exportations de combustibles fossiles et de diversifier ses sources d'énergie en faisant appel à ses ressources propres.

La constitution de l'infrastructure industrielle nécessaire à un programme nucléaire implique le renforcement de certaines industries du pays afin d'obtenir la participation nationale maximale. Il s'agit des secteurs de la construction, de la fabrication des matériels, et de la fourniture des matières et

des services. Quelques importations et un transfert de technologies seraient certes nécessaires, mais l'Amérique latine et les Caraïbes pourraient tirer profit des compétences techniques et de l'expérience déjà acquises.

Les avantages que présente l'énergie nucléaire quant à l'environnement seraient appréciables en l'occurrence, tout particulièrement dans les zones fortement peuplées de la région où la pollution atmosphérique devient préoccupante. Il est certain que de meilleurs rendements au niveau de la production, du transport, de la distribution et de l'usage final d'électricité contribueront dans une large mesure à rendre les stratégies énergétiques plus écologiques. L'exploitation des sources renouvelables acquerra toute son importance, notamment dans les campagnes.

L'énergie d'origine nucléaire n'en jouera pas moins un rôle important. Les prévisions les plus récentes de l'AIEA indiquent que la puissance installée nucléaire totale de l'Amérique latine et des Caraïbes pourrait au moins tripler d'ici à 2010, atteignant alors de 6 à 8 gigawatts électriques. L'énergie nucléaire assurerait dans ces conditions de 2,5% à 3% de la production d'électricité de la région (voir le tableau et le graphique).

Services et appui de l'AIEA

Le choix de l'option nucléaire implique un processus global de planification et de décision fondé sur une série d'études connexes comportant l'analyse de l'offre et de la demande d'énergie et de la situation économique et financière, et une évaluation des besoins en infrastructure et personnel et des possibilités existantes.

L'AIEA fournit l'information et un appui à ses Etats Membres lorsqu'ils envisagent d'équiper leurs réseaux électriques en nucléaire, lorsque cette option est viable. Lors de l'évaluation, la situation sociale et économique particulière du pays est prise en considération.

L'AIEA a mis au point et propose des méthodologies et des moyens informatiques, ainsi qu'une assistance à ses Etats Membres intéressés qui souhaitent étudier la question. Ces études se développent depuis le stade de pré-faisabilité, qui comporte l'analyse de la viabilité générale de l'option nucléaire, jusqu'à l'étude détaillée de faisabilité du programme nucléaire et enfin à la planification et à la réalisation des centrales nucléaires. Les modèles sont le MAED (modèle d'analyse de la demande d'énergie), le WASP (modèle viennois de planification automatique des systèmes) et le VALORAGUA, spécialement conçu pour les réseaux ayant une large composante hydro-électrique, FINPLAN pour l'étude des aspects financiers des programmes d'expansion énergétique, et ENPEP (programme d'évaluation de l'énergie et de l'électricité) qui propose une approche intégrée de la planification de

l'énergie et de la production d'électricité compte tenu des impacts sanitaires et écologiques. Outre qu'elle met ses modèles à la disposition de ses Etats Membres, l'AIEA offre aussi de nombreux cours sur l'emploi de ces outils à l'intention de spécialistes venant d'organismes nationaux. Elle fournit également une aide pour les études de faisabilité, l'évaluation des offres et les analyses financières. La participation de spécialistes d'Amérique latine et des Caraïbes aux programmes de formation et aux projets d'assistance technique de l'AIEA a amélioré les compétences disponibles dans la région pour la planification de l'équipement nucléo-électrique (voir le tableau).

Les méthodologies et les modèles de l'AIEA ont été communiqués à plusieurs pays de la région. A ce jour, 18 pays ont reçu le WASP, six l'ENPEP, trois le MAED et trois le VALORAGUA. Ces modèles sont également utilisés par la Banque inter-américaine de développement et par l'Organisation latino-américaine de l'énergie (OLADE).

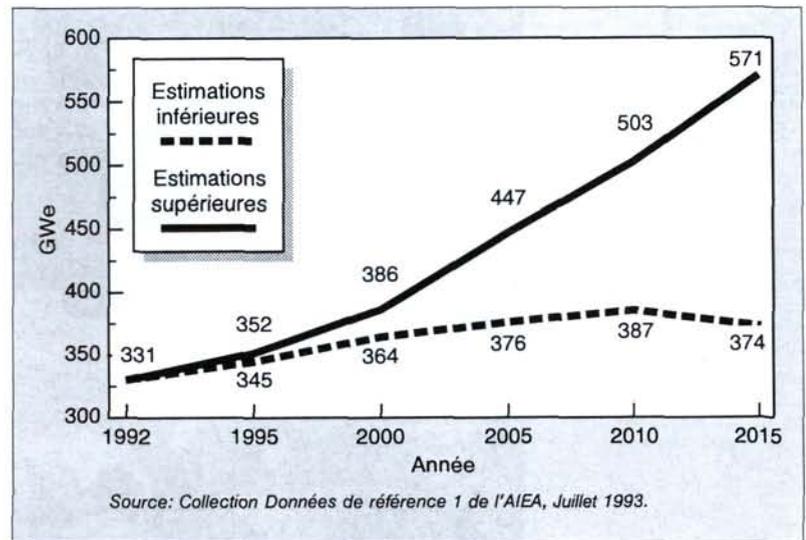
C'est aux autorités réglementaires nationales qu'il appartient de faire l'évaluation de la sûreté des centrales nucléaires et des installations du cycle du combustible. Pour améliorer la sûreté des installations nucléaires dans le monde entier, l'AIEA a entrepris plusieurs études et fourni sur demande des services pour appuyer les mesures prises par les autorités réglementaires nationales. Les normes, guides et pratiques de l'AIEA en matière de sûreté des centrales nucléaires contiennent des recommandations concernant les réglementations nationales et servent de référence pour les analyses, les examens et les évaluations de la sûreté. L'Agence organise aussi des programmes de formation sur les problèmes de sûreté pour améliorer les compétences du personnel.

Coordonner les efforts

Depuis quelques dizaines d'années, l'énergie d'origine nucléaire contribue notablement à l'essai-

nissement des stratégies énergétiques en ce qui concerne l'environnement et elle est capable d'occuper une plus grande place parmi les diverses sources d'électricité. Les conditions lui sont favorables en Amérique latine et dans les Caraïbes, car le souci de l'environnement s'y affirme et les ressources naturelles ainsi que l'infrastructure industrielle permettraient de développer le nucléaire. Une analyse poussée des différentes sources d'énergie utilisables pour produire de l'électricité montre que l'énergie nucléaire est une des formes d'énergie les moins nuisibles à l'environnement, moins encore que l'énergie hydro-électrique et autres sources renouvelables.

En Amérique latine, cette forme d'énergie a son rôle à jouer dans les stratégies énergétiques durables, si l'on se fonde sur les évaluations comparatives complètes des différentes options, qui tiennent compte des problèmes sanitaires et écologiques, et sur celles qui concernent la sûreté de l'approvisionnement en énergie et la compétitivité économique. Le développement économique et social de



Année	Amérique du Nord	Amérique latine	Europe occidentale	Europe orientale	Afrique	Moyen-Orient et Asie du Sud	Asie du Sud-Est et Pacifique	Extrême-Orient	Total mondial
1992	113,6	2,2	120,7	43,9	1,8	1,7	0	46,6	330,7
1995	115,7	2,9	122,2	51,3	1,8	1,9	0	55,7	351,6
	115,7	2,9	122,0	46,7	1,8	1,9	0	54,1	345,2
2000	118,1	5,6	128,8	56,4	1,8	3,7	0	71,1	385,6
	116,9	4,8	126,2	48,9	1,8	2,7	0	62,8	364,1
2005	121,1	7,6	138,2	79,6	1,8	5,0	0,6	93,5	447,3
	119,9	4,5	122,6	52,1	1,8	2,9	0	72,5	376,3
2010	122,0	8,2	154,0	89,5	5,0	7,5	3,2	113,4	502,9
	117,9	6,4	116,0	59,6	1,8	3,7	0,6	80,9	387,0
2015	147,1	10,5	167,8	100,8	5,0	8,2	4,4	126,7	570,6
	119,3	7,1	97,7	53,9	0	5,7	1,2	88,9	373,8

Note: Les puissances sont chiffrées en gigawatts. Le premier chiffre indique les estimations supérieures, le second les estimations inférieures.

Source: Collection Données de référence 1 de l'AIEA, Juillet 1993.

Projections de la capacité nucléaire-énergétique

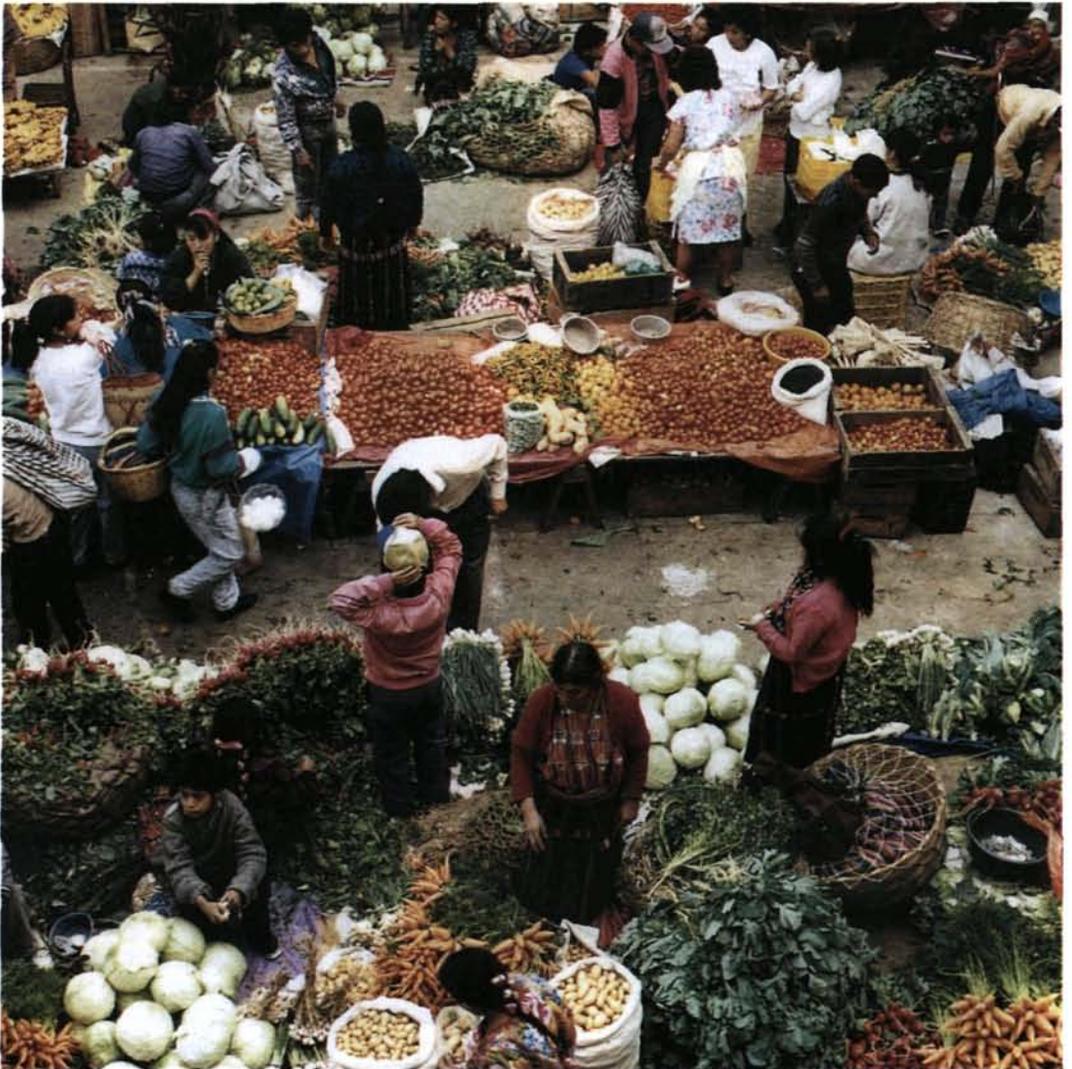
Cours de formation interrégionaux	Nombre de séances	Nombre de participants*
Planification de l'énergie dans les pays en développement, notamment de l'énergie nucléaire	8	250 (65)
Prévision de la demande d'électricité en vue de la planification du nucléaire (MAED)	3	94 (21)
Planification de l'expansion des réseaux électriques (WASP)	9	227 (61)
Planification intégrée de l'énergie et de l'électricité en vue du développement du nucléaire, notamment par la méthode ENPEP	2	70 (24)

* Le nombre de participants d'Amérique latine et des Caraïbes est indiqué entre parenthèses.

Cours de formation de l'AIEA sur la planification de l'énergie, de l'électricité et du nucléaire

la région permet d'appliquer des politiques novatrices et des technologies de pointe. L'AIEA peut continuer à fournir formation et aide pour améliorer les compétences en vue de la mise en œuvre de programmes nucléo-électriques lorsque ceux-ci sont une option viable compte tenu de la situation socio-économique particulière des pays intéressés. Certes, l'expansion future du nucléaire dépendra de son

acceptation par la société, laquelle dépend à son tour de son acceptation dans le monde entier, plus spécialement dans les pays industriels. Bien que l'on ait démontré que les centrales nucléaires sont sûres lorsqu'elles sont convenablement exploitées, l'étude de réacteurs de pointe dotés de caractéristiques de sûreté améliorées et la planification des mesures à prendre pour assurer la sûreté de la gestion et de l'élimination des déchets radioactifs demeurent des facteurs clés. Le rôle que l'énergie nucléaire peut jouer en allégeant le fardeau que le secteur énergétique fait peser sur l'environnement mérite bien les efforts conjoints que les milieux scientifiques et industriels déploient pour faciliter sa mise en œuvre.



Marché en plein air au Guatemala. (Photo: J. Marshall, AIEA)

La conférence a eu lieu à Santa Fé de Bogotá, Colombie, du 15 au 18 juin 1993. Elle a été préparée par l'Organisation latino-américaine de l'énergie (OLADE) pour répondre au besoin d'une analyse des options de développement des secteurs régionaux de l'énergie, dans le contexte géopolitique et économique mondial. La conférence était invitée par le Gouvernement de la Colombie, dont le Président, M. Cesar Gaviria Trujillo, prononça le discours d'ouverture.

Quatre grands thèmes étaient à l'ordre du jour: la géopolitique des marchés de l'énergie; la réforme économique et le secteur de l'énergie; l'énergie, l'environnement et le développement durable; les initiatives du secteur de l'énergie et du secteur privé.

L'offre d'énergie. D'après les mémoires présentés à la conférence, l'offre d'énergie dans la région n'est pas compromise car les sources sont suffisantes; il faut toutefois prévoir de gros investissements, notamment dans le secteur de l'électricité, pour répondre à la demande qui devrait continuer d'augmenter malgré les mesures de conservation et l'amélioration des rendements. L'interconnexion des réseaux de distribution d'électricité et de gaz continuera d'être renforcée et ne manquera pas d'améliorer l'efficacité du parc énergétique.

Le pétrole représente plus de 50% de l'énergie disponible dans la région. Celle-ci se propose de demeurer un exportateur net. Des investissements seront nécessaires dans le secteur du raffinage pour augmenter la capacité de production d'hydrocarbures, tant pour la consommation intérieure que pour l'exportation. Le gaz, qui abonde dans la région, présente un grand intérêt et pourrait être exploité plus activement pour le marché intérieur et pour l'exportation. Le charbon n'a qu'une importance marginale dans la région, mais il demeure une source importante d'énergie en Colombie, au Mexique et au Brésil et l'on continuera à l'utiliser en appliquant toutefois des techniques anti-pollution. Quant à l'énergie hydraulique, elle sera toujours une source importante d'électricité dans la plupart des pays de la région. Il est intéressant de noter que la biomasse compte pour environ 20% des ressources énergétiques et l'on envisage de l'exploiter d'avantage encore à l'aide des techniques les plus modernes de traitement et de brûlage de ses composants. Plusieurs pays considèrent l'énergie nucléaire comme une source de remplacement à long terme et à moyen terme; à cet égard, l'AIEA peut jouer un rôle important en aidant ses Etats Membres, sur demande, à mener leurs travaux de recherche et de réorganisation et à évaluer la viabilité et la faisabilité de programmes nucléaires.

Facteurs économiques. Les réformes économiques en cours, notamment les privatisations

dans le secteur de l'énergie et de l'électricité, devraient améliorer le bilan technique et économique de la production, de la distribution et de l'usage final de l'énergie. Les politiques suivies par les gouvernements dans le passé se sont révélées très insuffisantes sur le plan économique; la tarification qui, en principe, visait à rendre les services accessibles à tous s'est traduite par des gains insuffisants pour les compagnies et a découragé les investisseurs. Actuellement, le secteur de l'énergie a besoin d'énormes investissements que la région ne saurait financer à elle seule.

La privatisation du secteur de l'énergie et l'ouverture aux investissements étrangers devraient assurer en partie le financement nécessaire pour moderniser et adapter l'infrastructure de production et de distribution de l'énergie, notamment de l'électricité; l'appui des banques internationales de développement demeure néanmoins indispensable. Comme les investisseurs privés détermineront leur politique en fonction de l'optimisation des coûts, il faudrait que les réformes économiques du secteur améliorent les rendements ainsi que la gestion des ressources naturelles. Plusieurs participants ont néanmoins fait observer, non sans préoccupation, que le secteur privé n'était peut-être pas disposé à mettre en œuvre des stratégies à long terme; ils ont souligné, notamment, que les gouvernements devraient rester les protagonistes de la planification et de la décision dans le secteur de l'énergie de façon à bien équilibrer l'optimisation économique à court terme et les objectifs à long terme, telles l'indépendance en matière énergétique et la protection de l'environnement.

Considérations écologiques. En Amérique latine et dans les Caraïbes, comme partout ailleurs dans le monde, l'impact écologique des stratégies énergétiques retient de plus en plus l'attention. La preuve en est le nombre de mémoires présentés traitant de la surveillance de la pollution de l'environnement, de l'analyse de la situation actuelle et de l'avenir des émissions provenant du secteur de l'énergie, et de l'évaluation des stratégies de remplacement visant à atténuer les effets écologiques. On a souligné qu'il y avait certes des problèmes de pollution dans la région, mais que les pays d'Amérique latine et des Caraïbes sont parmi ceux où les émissions de dioxyde de carbone par habitant sont les plus faibles du monde, essentiellement grâce à la forte composante hydro-électrique de leurs réseaux. La conservation de l'énergie et la gestion de la demande ont été préconisées comme le meilleur moyen de réduire les émissions et les technologies propres ont été recommandées pour l'emploi des combustibles fossiles.

Moins de dioxyde de carbone grâce à l'énergie nucléaire

Les études faites montrent que le recours à l'énergie nucléaire contribue à réduire les émissions de CO₂ des centrales thermiques

par
J.F. van de Vate
et L.L. Bennett

Près de 80% du dioxyde de carbone, un des principaux gaz responsables de ce que l'on appelle l'effet de serre, résultent de la production et de la consommation d'énergie. Ce gaz à l'état de trace dans l'atmosphère est aujourd'hui la cause de plus de 60% de la perturbation dite «effet de serre».

La nécessité de limiter les émissions de ce gaz dues à la production d'énergie et autres activités industrielles retient l'attention internationale depuis plusieurs années, de même que le rôle potentiel de l'énergie nucléaire, qui permet de produire de l'électricité sans rejet de CO₂ et s'impose de plus en plus aux systèmes de production d'énergie du monde entier. L'énergie nucléaire est en effet l'une des sources d'énergie qui a contribué notablement, et pourrait contribuer plus encore dans l'avenir, à la réduction des émissions de gaz à effet de serre dans l'atmosphère.

En juin 1992, la Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement (UNCED), communément dénommée le «Sommet mondial», s'est réunie à Rio de Janeiro. Nombreux sont ceux qui la considèrent comme la réunion la plus importante du siècle. L'ordre du jour 21, un des principaux éléments des programmes d'action issus de la Conférence, propose une stratégie qui associe l'environnement et le développement afin d'améliorer les conditions de la continuité compromise de cette planète et de ses habitants. Faisant suite à la Conférence de Stockholm de 1972 sur l'environnement, quoique dans un contexte de menaces et de possibilités nouvelles, le Sommet mondial s'est surtout penché sur un problème écologique qui hante de plus en plus les esprits, à savoir le changement climatique. Des deux phénomènes en cause — la raréfaction de l'ozone stratosphérique et l'effet de serre — c'est le dernier qui est le plus intimement lié à un besoin fondamental de l'humanité, l'énergie.

Or, il est surprenant qu'il soit fait si peu de cas de l'énergie nucléaire dans la plupart des documents de cette conférence. L'ordre du jour 21, par exem-

ple, ne parle pas de l'énergie nucléaire dans sa définition des systèmes énergétiques écologiquement sûrs, sains et rentables, notamment les sources d'énergie nouvelles et renouvelables, dont on souhaite une contribution accrue. Le rapport présenté au Sommet mondial par la Commission mondiale des Nations Unies sur l'environnement et le développement est assez critique à l'égard de l'énergie nucléaire et c'est sur lui que l'ordre du jour 21 se fonde en grande partie.

En revanche, le Club de Rome, conscient des problèmes écologiques, a adopté récemment une attitude plus positive dans une de ses publications intitulée «Deuxième rapport au Club de Rome» où il est dit que l'énergie nucléaire doit être nécessairement incluse dans toute politique énergétique limitative de l'effet de serre. La Convention cadre des Nations Unies sur l'évolution climatique — document du Sommet mondial adopté à l'unanimité et signé par 154 pays — ne se prononce pas au sujet des diverses sources d'énergie. Ce document est largement accepté comme base des stratégies énergétiques nationales qui tendent à stabiliser les concentrations atmosphériques des gaz à effet de serre à un niveau qui exclut toute interférence dangereuse d'origine humaine avec le régime climatique. Il s'ensuit que la réduction du taux d'émission de ces gaz est devenue un des principaux facteurs de la planification de l'énergie, au même titre que d'autres facteurs plus traditionnels comme la rentabilité et la sûreté de l'approvisionnement.

De nos jours, des politiques tenant compte de l'environnement et du changement climatique orientent la production de l'énergie dans de nombreuses régions du monde. Le programme de l'AIEA concernant l'évaluation comparative de l'énergie nucléaire et des autres sources d'énergie vise à fournir les moyens et l'information nécessaires à une comparaison exhaustive et objective dans le contexte de la planification énergétique. Par ailleurs, il est difficile, sinon impossible, d'exprimer tous les impacts environnementaux des différentes sources d'énergie en unités communes. Aussi nous bornerons-nous dans cet article à examiner l'effet de serre. Dans ce contexte, nous parlerons du rôle de

M. Bennett est chef de la Section de la planification et des études économiques, Division de l'énergie d'origine nucléaire de l'AIEA, et M. van de Vate est membre de cette division.

l'énergie nucléaire dans la réduction des émissions de CO₂, comparé à celui d'autres sources d'énergie, ainsi que des besoins futurs en sources d'énergie à faible émission de CO₂.

La leçon du passé

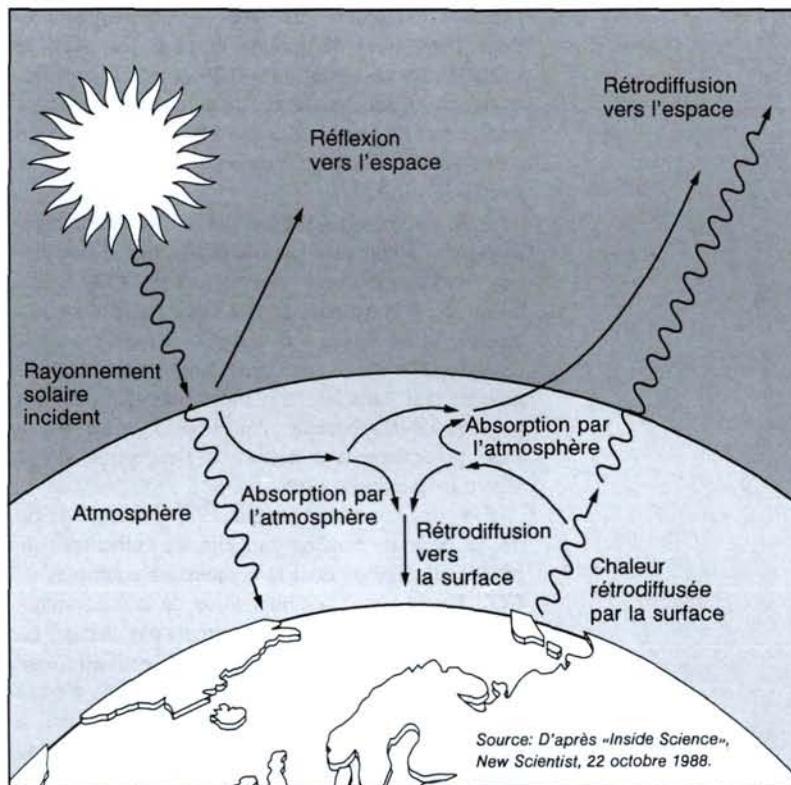
La concentration de CO₂ dans l'atmosphère augmente à raison d'environ 0,4% par an. Cela résulte principalement de l'emploi des combustibles fossiles dont les émissions de CO₂ sont actuellement évaluées, pour le monde entier, à 24 000 mégatonnes par an. L'accroissement annuel dû au secteur de l'énergie est pratiquement constant et de l'ordre de 250 mégatonnes, essentiellement imputables à la croissance de la consommation d'énergie dans les pays en développement. Les pays industriels et les pays en phase de transition ont stabilisé leur taux d'émission dès le milieu des années 70.

Comprendre ce processus de stabilisation peut aider à mettre au point une stratégie énergétique plus douce pour l'environnement. Pour ce faire, il n'est pas inutile de regarder de plus près les émissions de CO₂ par habitant, ce qui élimine le facteur démographique (la croissance démographique des pays en développement est supérieure à celle de l'ensemble du monde). Mis à part les pays de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) où l'on constate une légère diminution des émissions par habitant après 1973, celles-ci ont en général tendance à augmenter (voir les graphiques). Dans l'ex-Union soviétique, l'augmentation est plutôt faible après 1980. En ce qui concerne les pays en développement, on constate une augmentation régulière d'environ 3,5% par an. Remarquer la différence d'un ordre de grandeur de l'émission de CO₂ par habitant entre les pays industriels et les pays en développement, qui s'explique par la différence des niveaux et des modes de vie.

On peut supposer que la stabilisation de l'émission par habitant dans les pays industriels est due à l'adoption de sources d'énergie impliquant des émissions nulles ou faibles. On en trouve l'indice dans la forte augmentation de la part de l'électricité dans la production énergétique des pays industriels depuis le milieu des années 70, associée à l'adoption de l'énergie nucléaire dans plusieurs pays.

On peut aller plus loin dans l'analyse en se fondant sur les variations du facteur d'émission de CO₂, c'est-à-dire la quantité émise par exajoule (EJ, 10¹⁸ joules), lequel permet de comparer différents combustibles fossiles. Pour un pays ou une région déterminée, ce facteur est un indicateur technique de sa contribution à l'effet de serre.

En général, les facteurs d'émission de CO₂ à l'échelle mondiale et régionale diminuent de façon continue et assez régulièrement. Ce sont les pays en développement dont le taux de décroissance annuelle est le plus faible (-0,24 mégatonne de CO₂ par EJ) et c'est dans les pays de l'ancien bloc soviétique que



L'effet de serre

L'atmosphère se comporte comme le vitrage d'une serre et empêche la Terre de se refroidir jusqu'à des températures très inférieures au point de congélation. Les concentrations atmosphériques des gaz à effet de serre augmentent sur l'ensemble de la planète depuis plus d'un siècle, de sorte que l'équilibre entre le rayonnement solaire incident et le rayonnement thermique vers l'espace se trouve perturbé.

La charge radiative imposée à l'atmosphère par les gaz à effet de serre d'origine anthropique n'aurait rien de tragique s'il n'y avait pas en retour un fort effet d'intensification. Ce phénomène est dû à la présence naturelle dans l'atmosphère terrestre d'un gaz à effet de serre très important, la vapeur d'eau. L'humidité de l'air augmente lorsque l'atmosphère s'échauffe, ce qui accroît encore la charge radiative.

Ce processus apparaît comme une sérieuse menace pour l'humanité et l'environnement, non seulement à cause de l'échauffement du globe qui en résulte (certains pensent qu'il sera même bénéfique), mais aussi du fait qu'il pourrait provoquer des inondations, des périodes de sécheresse et des cyclones plus fréquents et plus sérieux que ceux que notre expérience quotidienne nous a fait connaître et comprendre. Depuis peu, les milieux scientifiques du programme sur le climat mondial s'intéressent davantage à ces manifestations météorologiques extrêmes. En résumé, la plupart des spécialistes jugent les raisons suffisantes pour réduire les émissions de gaz à effet de serre, en particulier celles que produisent les sources d'énergie.

Nécessité d'un train de mesure. Quelle action faudrait-il envisager pour éviter une aggravation de l'effet de serre et faire cesser l'évolution du climat dont l'homme est la cause? Un intéressant article de Bert Bolin, président du Groupe intergouvernemental de l'évolution du climat depuis sa création, répond à la question. Dans son intervention de mai 1989 au Groupe de travail III de cet organe chargé des stratégies envisagées, Bolin a montré que seul un train de mesures énergiques est capable de nous épargner une fraction importante des deux degrés d'échauffement de l'atmosphère terrestre prévus pour 2030. Bolin précise dans son étude que, pour éviter ces deux degrés d'échauffement, il faut abolir complètement les rejets de chlorofluorocarbure d'ici l'an 2000, reboiser au moins la moitié des superficies déboisées depuis 1900, réduire la consommation de combustibles fossiles de 0,5% par an et améliorer très sensiblement les rendements au niveau de l'usage final de l'énergie.

l'on note les taux les plus élevés (-0,43 mégatonne). Pour l'ensemble du monde et pour les pays de l'OCDE, les taux sont de -0,29 et -0,33, respectivement. Cette tendance mondiale relativement stable d'amélioration des systèmes de production d'énergie est encourageante en ce qui concerne l'effet de serre.

Pour mieux faire comprendre le rôle des changements de combustible pour la production d'énergie, un facteur spécifique d'émission de CO₂ a été défini: c'est la quantité de CO₂ émis par EJ de combustible brûlé. Jusqu'à la crise du pétrole de 1973, ce facteur s'était amélioré dans l'ensemble du monde, tant dans les pays industriels que dans les pays en développement. Après 1973, toutefois, il s'est pratiquement stabilisé, à l'exception d'une légère baisse après 1985.

Une des raisons en est que 1973 a marqué la fin de la période pendant laquelle on substituait le pétrole au charbon dont la combustion émet plus de CO₂. Par la suite, la composition de la consommation de combustible n'a pratiquement pas changé. La baisse continue du facteur moyen d'émission était due à d'autres causes. A partir de 1973, c'est à l'énergie nucléaire et, dans une moindre mesure, à l'énergie hydraulique que l'on doit l'amélioration du facteur moyen d'émission dans le monde entier. La réduction des émissions de CO₂ grâce à l'énergie nucléaire est passée d'environ 1% en 1973 à près de 7% en 1990, tandis que le recours à l'énergie hydraulique l'a amenée de 6,5% à 8%. Il n'est pas surprenant que ce soit dans les pays bien équipés en nucléaire que l'on constate une nette amélioration des facteurs d'émission, car leur politique énergétique influe peu sur l'effet de serre. Les pays comme la Belgique, la France et la Suède, qui ont mis en œuvre de grands programmes d'équipement nucléaire entre 1965 et 1990, ont appliqué des politiques énergétiques très favorables à cet égard en réduisant leur facteur d'émission de CO₂ d'au moins 1 mégatonne par EJ et par an.

Au cours des dernières décennies, le facteur moyen d'émission pour le monde et pour les Etats-Unis s'est maintenu au niveau de celui correspondant au pétrole, à savoir 75 mégatonnes de CO₂ par EJ. Voilà un témoignage de plus de l'effet réducteur bénéfique de l'énergie nucléaire sur les émissions de CO₂ dans les pays comme la Suède ou la France depuis qu'ils lancèrent leurs programmes nucléaires vers le milieu des années 70. A noter également le rôle important de l'énergie hydraulique en Suède et en Norvège. En outre, les chiffres montrent la stabilité relative des facteurs d'émission de CO₂ dans les pays qui possèdent de vastes ressources énergétiques, tels la Chine (charbon), les Etats-Unis (charbon et pétrole) et la Norvège (énergie hydraulique). Cela est l'indice de la haute priorité accordée à la continuité des approvisionnements, en rapport avec la préservation de l'environnement, par les politiques énergétiques de ces pays au cours des dernières décennies.

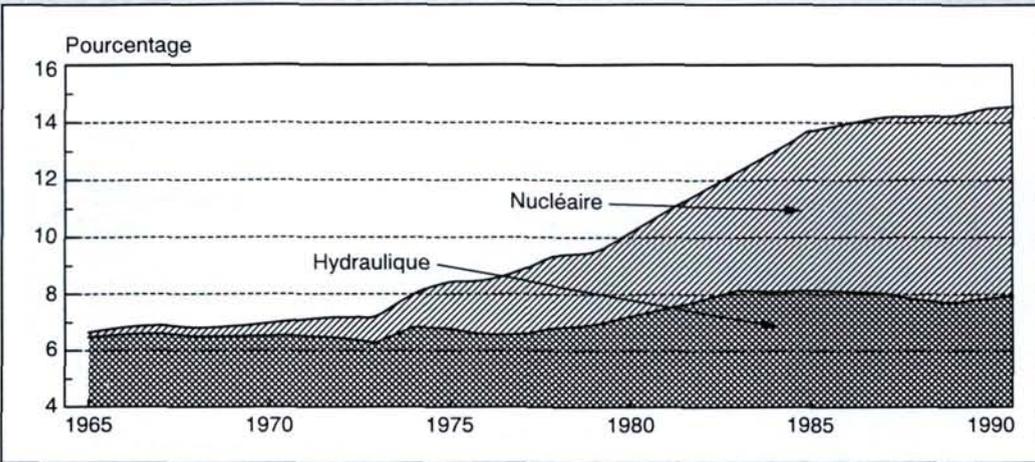
La leçon de l'avenir

Nombre de scénarios ont été élaborés pour prévoir à long terme les émissions de CO₂ associées à la production d'énergie, dont certains font explicitement état de l'énergie nucléaire. A titre documentaire, nous examinerons ci-après les scénarios mis au point par le Groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat (IPCC), l'Institut international d'analyse appliquée de systèmes (IIASA) et le Conseil mondial de l'énergie (CME) (voir les graphiques). Nous parlerons aussi de trois autres cas qui retiennent diverses hypothèses sur la croissance démographique et un développement mondial équitable.

Scénarios IPCC. Le scénario de référence (1a) suppose une population mondiale qui atteindra environ 11 milliards d'habitants en 2100 et une croissance économique moyenne et raisonnable de 2,9% par an jusqu'à 2025 et de 2,3% par la suite. Le gaz naturel et les sources d'énergie renouvelables, notamment l'énergie solaire et la biomasse, qui devraient devenir compétitives, voient augmenter sensiblement leur part de l'énergie totale disponible. Dans ce scénario, les émissions de CO₂ dues à la production d'énergie augmentent modérément.

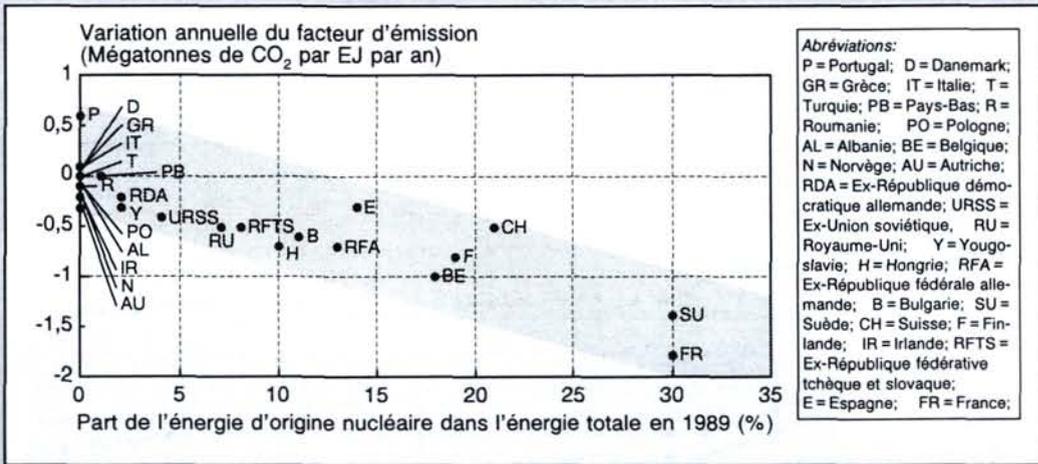
Trois autres scénarios, également de l'IPCC, font d'autres hypothèses. Le scénario 1e suppose la même croissance démographique que le scénario de référence, mais avec une croissance économique plus rapide — 3,5% par an jusqu'à 2025 et 3% par la suite. Il suppose aussi que le gaz naturel évolue de la même façon que dans le scénario de référence et que l'énergie nucléaire aura été progressivement abandonnée pour 2075. De ce fait, les émissions de CO₂ augmentent de façon spectaculaire d'un facteur de plus de quatre entre 1990 et 2100. Les scénarios 1c et 1d supposent une moindre croissance démographique qui mène à 6,4 milliards d'habitants en 2100, de même qu'une croissance économique inférieure à celle du scénario de référence. Le scénario 1c qui postule la plus faible croissance économique et un important développement du nucléaire aboutit à des émissions de CO₂ bien inférieures à long terme; celles-ci commencent même à diminuer à partir de 2025. Le scénario 1d prévoit une stabilisation des émissions au cours du prochain siècle, car il postule une croissance économique et démographique modérée ainsi qu'un recours assez important aux sources d'énergie renouvelables et, dans une moindre mesure, à l'énergie nucléaire. Les scénarios 1e et 1d font une corrélation entre de faibles émissions de CO₂ et une forte proportion de nucléaire parmi les combustibles, montrant ainsi l'intérêt de l'option nucléaire dans les stratégies énergétiques à long terme.

Scénario CME. La Commission du CME a fait des projections de la demande d'énergie jusqu'à l'horizon 2020, supposant une croissance démographique plutôt faible, de 1,4% par an — jusqu'à cette année-là. Le cas de référence CME-89 suppose la

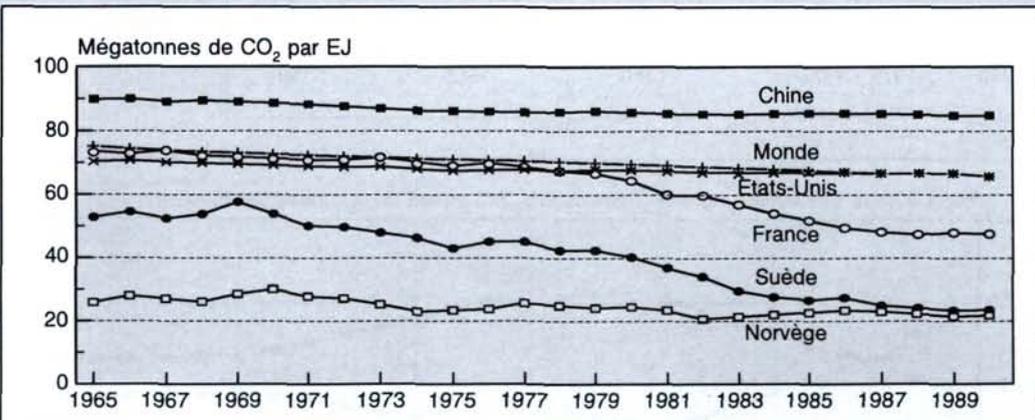


Pourcentage de CO₂ évité grâce à l'énergie nucléaire et à l'énergie hydraulique

L'énergie nucléaire et les émissions de CO₂



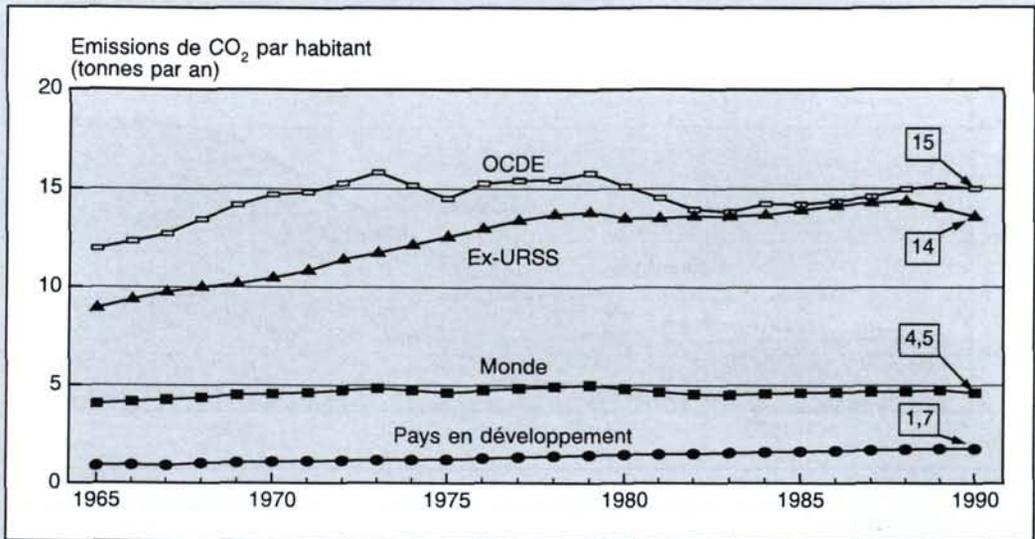
- Abréviations:**
 P = Portugal; D = Danemark; GR = Grèce; IT = Italie; T = Turquie; PB = Pays-Bas; R = Roumanie; PO = Pologne; AL = Albanie; BE = Belgique; N = Norvège; AU = Autriche; RDA = Ex-République démocratique allemande; URSS = Ex-Union soviétique; RU = Royaume-Uni; Y = Yougoslavie; H = Hongrie; RFA = Ex-République fédérale allemande; B = Bulgarie; SU = Suède; CH = Suisse; F = Finlande; IR = Irlande; RFTS = Ex-République fédérative tchèque et slovaque; E = Espagne; FR = France;



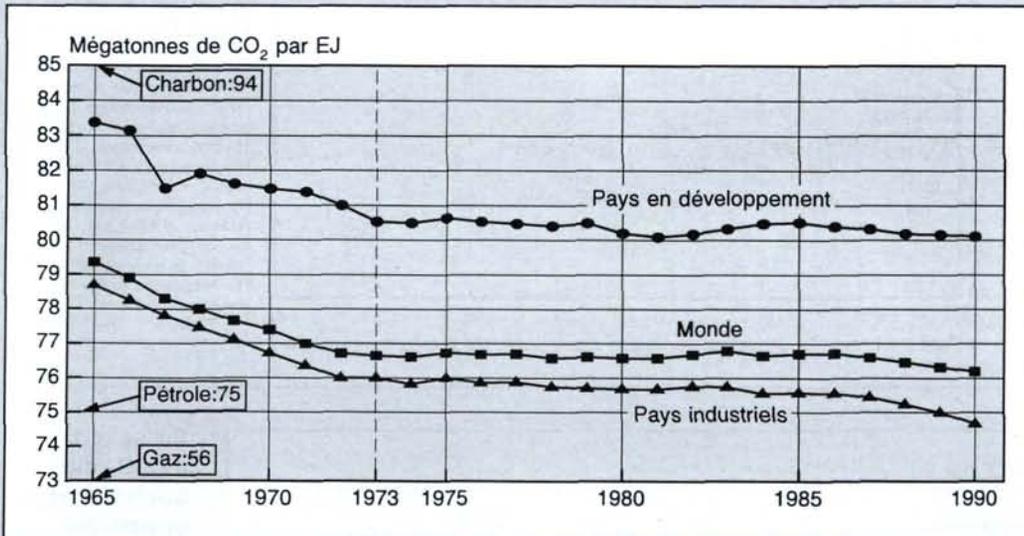
Emissions de CO₂ dans quelques pays et part des combustibles fossiles dans l'énergie

	Combustible fossile (%)	Autres sources d'énergie (%)		
		Nucléaire	Hydraulique	Total
Chine	95	0	5	5
Etats-Unis	88	8	4	12
France	65	30	5	35
Norvège	29	0	71	71
Suède	34	31	35	66
Monde	87	6	7	13

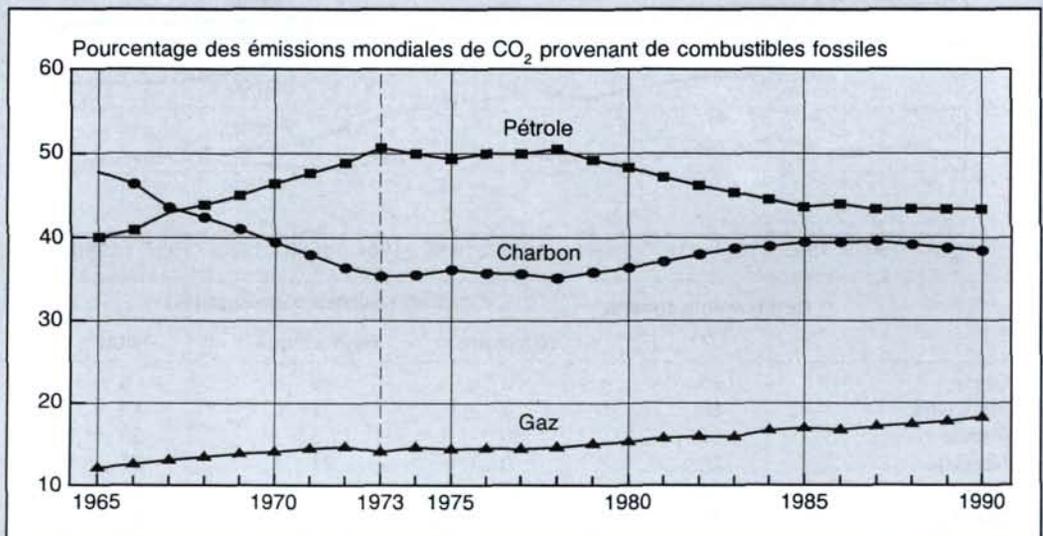
Emissions de CO₂ par habitant et par groupes de pays



Variation des émissions de CO₂, 1965-1990



Pourcentage des émissions de CO₂ provenant des combustibles fossiles

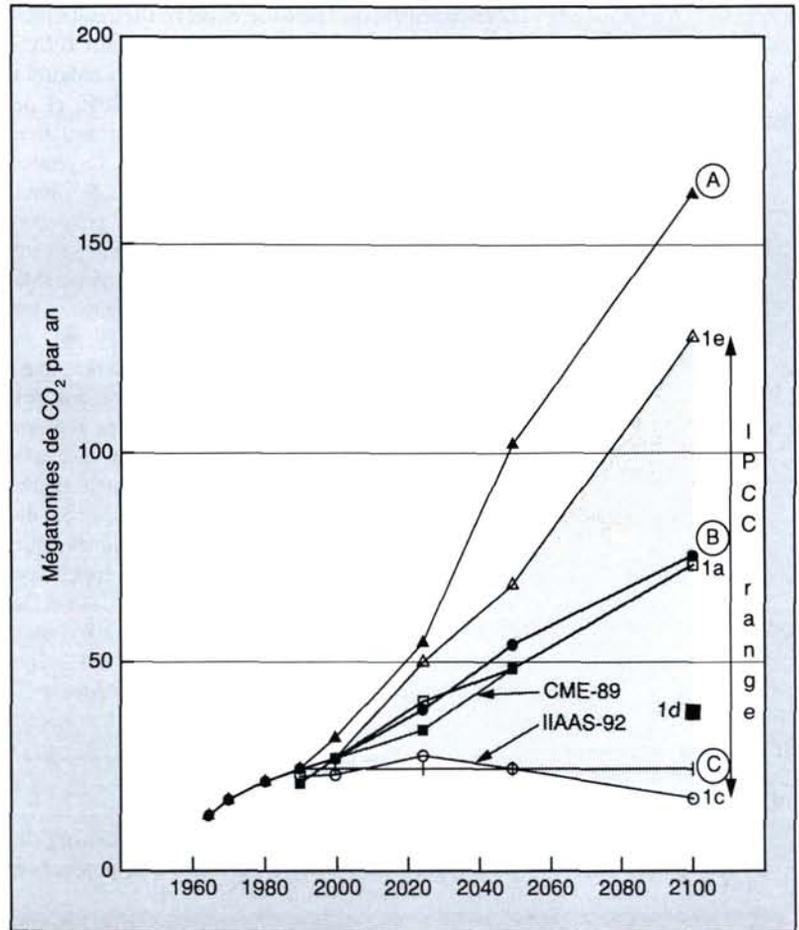


continuation de la croissance économique aux taux atteints pendant la seconde moitié des années 80 et une réduction de la concentration d'énergie plus rapide que dans le passé. L'énergie nucléaire augmenterait d'environ 50% sa part de l'énergie primaire mondiale entre 1990 et 2020. Cette hypothèse a son origine dans l'opinion de la Commission du CME selon laquelle, dans l'optique de la durabilité, l'option nucléaire doit être réévaluée compte tenu des problèmes écologiques et de la sécurité des approvisionnements.

Scénario IIASA. Le scénario IIASA-92, qui suppose qu'une part importante des ressources énergétiques revient au nucléaire, vient à l'appui de la théorie selon laquelle les technologies sans émission de CO₂ doivent contribuer substantiellement à l'offre d'énergie lorsque la politique suivie vise à ménager l'effet de serre.

Autres possibilités. Trois autres cas ont été étudiés par l'AIEA à partir des idées énoncées dans la Convention cadre sur l'évolution du climat qui insiste sur la nécessité d'un équilibre mondial entre pays industriels et pays en développement en tant que concept de base d'un développement durable. En d'autres termes, la résorption de l'écart économique entre les pays riches et les pays pauvres devrait être un des piliers d'une politique climatologique mondiale. Cela suppose aussi dans l'avenir un meilleur équilibrage, sur le plan régional, de la consommation d'énergie par habitant et des émissions de CO₂. C'est également là la condition *sine qua non* d'une collaboration pleine et entière entre pays en développement pour une politique mondiale de préservation durable de l'environnement. Actuellement, la consommation moyenne d'énergie par habitant et les émissions associées de gaz à effet de serre par habitant sont, dans les pays industriels, d'un ordre de grandeur supérieur à ce qu'ils sont dans les pays en développement. En conséquence, il se peut que la demande mondiale d'énergie augmente considérablement au cours du prochain siècle du fait de l'égalisation et si, comme on s'y attend, la population mondiale doit pratiquement tripler par rapport à aujourd'hui.

Dans les trois cas étudiés, on analyse différents niveaux d'équilibre censés d'être atteints au cours du siècle prochain, afin d'explicitier les contraintes qu'implique une politique énergétique mondiale durable visant à réduire l'écart économique dû aux modes de vie différents entre pays en développement et pays industriels. Dans les trois cas, on suppose que l'équilibre mondial des émissions de CO₂ par habitant est atteint à raison d'une variation annuelle de trois pour cent du rapport de ces émissions entre pays industriels et pays en développement, et que la population mondiale atteindra 12 milliards d'habitants en 2075, ce qui est conforme aux prévisions du Fonds des Nations Unies pour la population. Par souci de clarté, il n'est postulé aucune modification de proportion des différents combustibles ni aucune amélioration des rendements.



Voici les trois cas envisagés :

Cas A. Il suppose que les pays industriels stabilisent leur consommation d'énergie et leur émission de CO₂ par habitant au niveau de 1990 et que les pays en développement les rattrapent en 50 ans. Le résultat n'est pas pour surprendre : un énorme rejet mondial de CO₂ atteignant 150 mégatonnes par an, soit près de six fois le taux annuel actuel de 24 mégatonnes.

Cas B. Il suppose que la consommation égalisée d'énergie par habitant dans le monde en 2050 sera quatre fois supérieure à ce qu'elle est actuellement dans les pays en développement et 2,5 fois inférieure à celles des pays industriels aujourd'hui. Cela sous-entendrait le taux d'investissement maximal réalisable en faveur du développement. Le taux final d'émissions de CO₂ qui en résulterait — environ 75 mégatonnes par an — est encore très élevé, quoique comparable à celui que prévoient les scénarios de l'IPCC.

Cas C. Il s'agit d'un cas normatif restrictif car on suppose un taux mondial d'émissions de CO₂ stabilisé au niveau de 1990. L'équilibre n'est atteint qu'à la fin du siècle prochain. Cela signifie en fait que l'objectif mondial fixé à Toronto (réduction de 20% des niveaux de 1988 d'ici à 2005) n'est même pas atteint. Ce cas est néanmoins plus ou moins analogue au scénario 1c de l'IPCC qui suppose un large

Scénarios des émissions de CO₂ dues à la production d'énergie

développement du nucléaire et prévoit les émissions de CO₂ les plus faibles de tous les scénarios IPCC. Ici, il est implicite que les pays industriels réduiront leurs émissions de CO₂ de 70% pour 2050 et de 80% pour 2100, afin de compenser l'augmentation des émissions des pays en développement. La réduction à réaliser serait d'environ 100 millions de tonnes de CO₂ par an. L'expansion de la puissance installée nucléaire que cela sous-entend est nettement réalisable, car elle représente un rythme comparable à celui de l'équipement nucléaire pendant les premières années 80.

Dans leur ensemble, les trois cas montrent que, sans intervention énergétique, les taux d'émission des gaz à effet de serre tel CO₂ atteindront des niveaux exceptionnellement élevés, principalement à cause de la croissance démographique et de l'amélioration des modes de vie dans les pays en développement du fait de l'égalisation. En outre, ils impliquent que l'énergie nucléaire est nécessaire pour mettre en œuvre une stratégie mondiale visant à freiner le changement climatique, ce qui imposera à son tour aux pays en développement de s'engager davantage dans la voie de l'équipement nucléo-électrique.

Des engagements plus fermes

Les scénarios qui prévoient explicitement la participation de l'énergie nucléaire à la production

d'énergie montrent clairement que les émissions mondiales de CO₂ peuvent être très sensiblement réduites si le nucléaire peut pénétrer davantage le marché de l'électricité. Il faut donc prendre une série de mesures, dont la promotion du nucléaire et l'amélioration générale des rendements énergétiques, pour ramener les émissions de gaz à effet de serre à un niveau auquel il ne peut y avoir aucune nouvelle perturbation anthropique de l'atmosphère par effet de serre, avec son corollaire, le changement climatique. Cela exige un effort considérable à l'échelle mondiale de la part tant des pays industriels que des pays en développement, ces derniers nécessitant une aide substantielle sous forme de capitaux, de compétences et de matériel, le tout visant à diminuer les émissions de gaz à effet de serre.

Pour commencer, il faudrait toutefois que tous les pays industriels montrent qu'ils prennent au sérieux le problème de l'effet de serre et réduisent leur part, actuellement la plus importante, des émissions mondiales des gaz qui en sont responsables. A ce propos, les pays enclins à réduire progressivement leur recours à l'énergie nucléaire devront se convaincre qu'il leur sera de ce fait difficile, sinon impossible, de respecter l'engagement qu'ils ont pris de s'efforcer au moins de stabiliser les émissions de CO₂, sans même parler d'atteindre l'objectif mondial de Toronto.

L'électricité consommée par Chicago et d'autres villes du monde est en grande partie d'origine nucléaire.
(Photo: ENEL)



Production d'électricité et gestion des déchets: diverses options

Un étude de l'AIEA compare les coûts estimatifs de la gestion des déchets de la production d'électricité à base de combustibles nucléaires et fossiles

par
V. Tsyplenkov

Bien des années ont passé depuis l'avènement de l'énergie nucléaire que l'on saluait comme la promesse de l'électricité «trop bon marché pour mériter un compteur». De fait, le véritable moteur des programmes de développement de l'énergie nucléaire est le souci de s'assurer une source d'électricité à un prix abordable, tant à court terme qu'à long terme. Le prix de revient de cette électricité est donc une question extrêmement importante, de même que la méthode à choisir pour le calculer. Depuis des années, les coûts relatifs des différents moyens de production d'électricité sont évalués, réévalués et comparés par nombre d'organisations, dont l'AIEA, afin de les placer dans la bonne perspective.

Dès le début des réacteurs nucléaires à fission, la gestion des déchets radioactifs a souvent été considérée comme un des problèmes majeurs que pose l'énergie d'origine nucléaire. On s'est également inquiété des dépenses à encourir, notamment pour l'évacuation des déchets de haute activité ou du combustible épuisé non retraité. Le coût de l'opération a bien souvent été invoqué, pas toujours objectivement, par les détracteurs de l'énergie d'origine nucléaire. Plus récemment, les organismes écologiques ont constaté pour la première fois que tous les moyens de production d'énergie engendraient des déchets et avaient des effets sur l'environnement parfois inacceptables si on ne les surveille pas convenablement. L'entrée en force de sujets tels que l'effet de serre et les pluies acides dans les grands débats politiques de ces dernières années a fait que l'on s'est mis à étudier plus en détail la question de la gestion des déchets des combustibles fossiles. Il existait jusqu'ici une vague réglementation dans ce domaine, notamment dans certaines régions du monde. Nous en sommes maintenant au point où la gestion des déchets de l'exploitation de l'énergie nucléaire se trouve extrêmement réglementée et où les mesures de surveillance des déchets des centrales à combustible fossile deviennent plus strictes.

Comme il est à peu près certain qu'une part de la production d'électricité continuera d'utiliser ces deux sources, le moment est venu de passer en revue les pratiques de gestion des déchets ainsi que leur coût.

Le présent article se fonde sur une étude par l'AIEA des coûts estimatifs de la gestion des déchets. Plusieurs études de coûts des différents stades de la gestion des déchets ont été récemment achevées. Il a semblé utile d'en comparer objectivement les résultats avec les coûts de la gestion des déchets de la production d'électricité à partir d'autres sources d'énergie. Cette comparaison peut alors aider à bien situer les aspects économiques et écologiques des différents moyens de production de l'électricité.

La comparaison porte sur le coût de la gestion des déchets de la production d'électricité dans des cas représentatifs de recours aux combustibles nucléaires et aux combustibles fossiles. Les coûts associés à la troisième source importante d'électricité, l'énergie hydraulique, sont manifestement faibles et nous n'allons pas nous en occuper. Les combustibles fossiles aussi bien que les combustibles nucléaires peuvent être utilisés dans différents types de centrales. Il serait difficile de tenir compte de toutes les variantes possibles, de sorte que l'on a choisi pour l'évaluation des centrales représentatives d'une puissance de 1000 mégawatts électriques (MWe) exploitées pendant 30 ans à 70% de leur capacité.

Cycles des combustibles nucléaires et fossiles

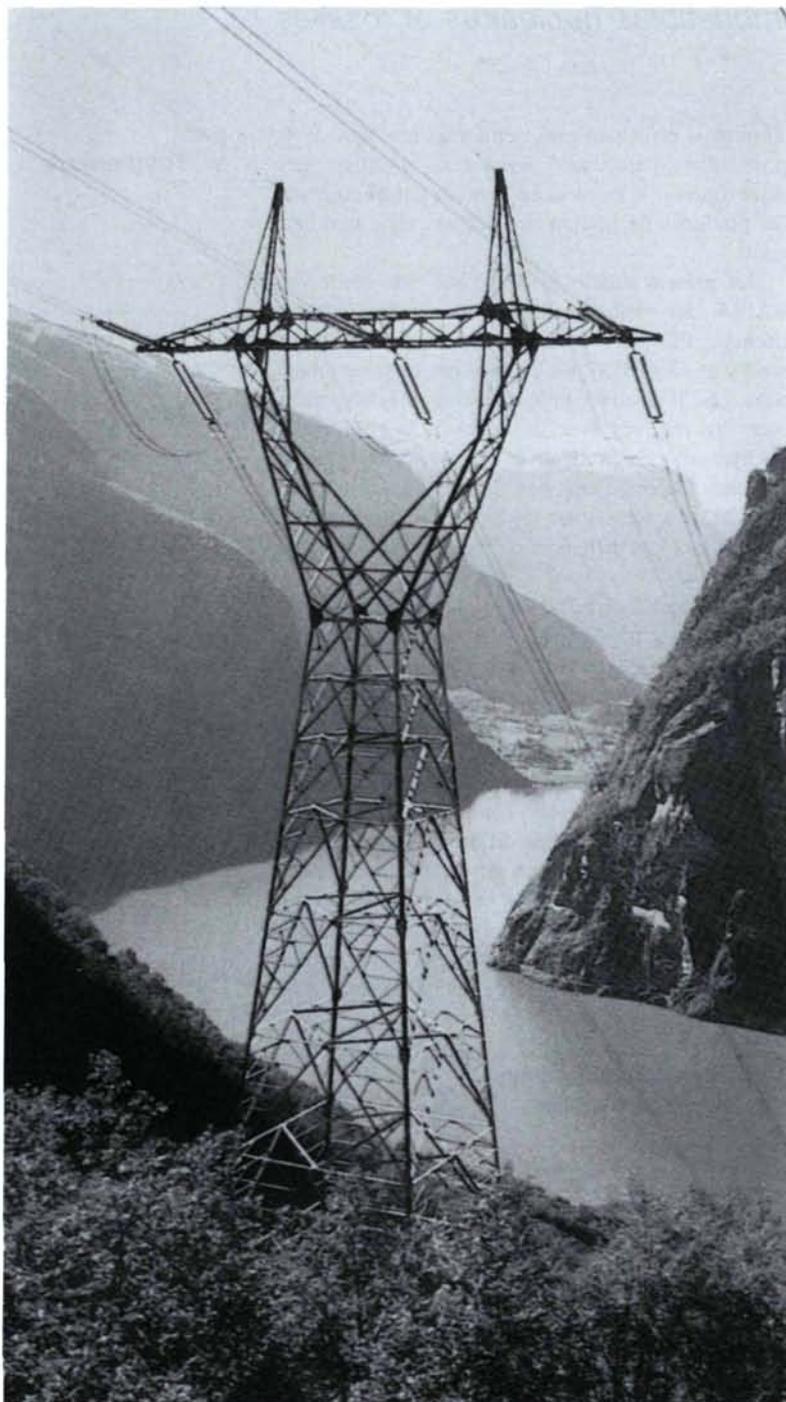
Cycles du combustible fossile. Dans le monde industriel, le charbon est le principal combustible fossile utilisé pour produire de l'électricité, mais la part du gaz augmente rapidement. Dans certains pays, le pétrole est également important à cette fin, mais de nombreux réseaux s'efforcent de ne pas y avoir recours à cause des fortes variations éventuelles de son prix. Vu sous l'angle des déchets produits, le pétrole se situe quelque part entre le

M. Tsyplenkov est membre de la Division du cycle du combustible nucléaire et de la gestion des déchets, à l'AIEA.

charbon et le gaz. C'est pourquoi ces deux derniers ont été choisis comme combustibles représentatifs aux fins de la comparaison.

Les centrales thermiques modernes brûlent du charbon pulvérisé. Lors de la combustion, le charbon réagit avec l'oxygène pour former du dioxyde de carbone (CO_2). Sont également produits des oxydes d'azote (NO_x), de l'anhydride sulfureux (SO_2), des cendres volantes et plusieurs autres produits secondaires polluants dont certains radio-nucléides que contient le charbon.

Ligne de transport de force en Norvège. (Photo: NorEnergi)



Pour assurer la charge de base, deux types de centrales au gaz sont utilisés. Le premier type est à cycle de vapeur classique, mais les unités plus récentes comportent des turbines à gaz en amont du cycle de vapeur, ce qui améliore le rendement du système; ce sont les centrales à cycle combiné. La combustion du gaz naturel est beaucoup plus propre que celle du charbon et ne produit guère que CO_2 , de l'eau et NO_x .

Lorsque l'on implante une nouvelle centrale à combustible fossile, il semble que l'on donne la préférence au type classique au charbon et au type à gaz à cycle combiné. Ces deux types se situent aux deux extrêmes du spectre des problèmes associés à la gestion des déchets provenant des combustibles fossiles.

Cycle du combustible nucléaire. Dans une centrale nucléaire, la chaleur dégagée par la fission des noyaux des atomes d'éléments lourds est utilisée pour produire la vapeur qui entraîne les turbo-alternateurs.

De nos jours, c'est l'uranium qui est le plus utilisé comme combustible. On le trouve dans la nature et on l'extrait selon des techniques classiques. Il est ensuite traité pour s'adapter à son usage comme combustible dans un réacteur nucléaire. L'uranium naturel contient deux isotopes principaux, l'uranium 238 et l'uranium 235. Seuls les noyaux d'uranium 235 sont spontanément fissiles, mais cet isotope ne représente que 0,7% de l'uranium naturel. Certains réacteurs consomment de l'uranium naturel, mais la plupart fonctionne à l'uranium légèrement enrichi, c'est-à-dire dont on a augmenté la proportion d'uranium 235 de quelques pour cents. Aussi la plupart de l'uranium est-il enrichi avant la fabrication des éléments combustibles destinés aux réacteurs.

Le combustible épuisé extrait d'un réacteur, généralement chaque année, contient de l'uranium non utilisé, des produits de fission, du plutonium et autres éléments lourds. Il est possible de dissoudre le combustible épuisé et de le traiter chimiquement pour en extraire l'uranium non utilisé ainsi que le plutonium, pour fabriquer à nouveau du combustible et le recycler. Il arrive aussi que les éléments combustibles épuisés soient évacués comme déchets, sans retraitement.

Il y a deux types principaux de cycle du combustible: le cycle à passage unique dans les réacteurs à neutrons thermiques et le cycle avec retraitement (voir le diagramme). Dans le cycle à passage unique, le combustible épuisé n'est pas retraité, mais stocké jusqu'à son évacuation définitive comme déchet. Dans l'autre cycle, le combustible épuisé est retraité et l'uranium ainsi que le plutonium sont séparés des produits de fission. L'uranium, ou le plutonium, ou les deux peuvent alors être recyclés dans de nouveaux éléments combustibles.

Plusieurs types de réacteurs à neutrons thermiques sont utilisés actuellement pour produire de l'électricité. La filière la plus courante est celle à eau

sous pression (PWR). C'est pourquoi nous l'avons choisie comme modèle, avec et sans retraitement, aux fins de la comparaison. D'autres types de réacteurs produisent des déchets de composition un peu différente, mais la filière PWR est suffisamment représentative pour être prise comme référence.

Formation des déchets

Des déchets sont produits à chaque stade des cycles du combustible: extraction, préparation et fabrication du combustible, production d'énergie électrique et déclassé.

Les déchets d'une centrale nucléaire sont assez différents, tant en nature qu'en quantités, de ceux qui produisent les centrales à combustible fossile. Ils représentent une quantité relativement réduite de produits radioactifs alors que les centrales à combustible fossile, au contraire, consomment de grandes quantités de ce combustible qui rejette en brûlant un volume considérable de produits de combustion. Les déchets de ces deux types de centrales peuvent être gazeux, liquides et solides.

On ne sait pas assez que la combustion du charbon rejette dans l'environnement pratiquement autant de réactivité (quant à ses effets biologiques potentiels) que le combustible nucléaire utilisé en mode d'exploitation normale pour une production comparable d'électricité. L'extraction et l'emploi du gaz naturel libèrent aussi de la radioactivité dans l'atmosphère sous forme de radon.

Déchets des combustibles fossiles. La plupart des déchets des combustibles fossiles apparaissent au stade de la production d'électricité, bien que, en ce qui concerne le charbon, des déchets solides en quantités importantes sont produits au cours de l'extraction et de la préparation du combustible.

En brûlant les combustibles fossiles engendrent du dioxyde de carbone. Par rapport au charbon, le gaz naturel produit juste un peu plus de la moitié de CO_2 par unité d'énergie intrinsèque. En revanche, la combustion du charbon dégage des anhydrides de soufre (SO_2 et SO_3) qui sont pratiquement absents des déchets de combustion du gaz. Notons que la combustion du charbon produit aussi des oxydes d'azote (NO_x).

Cette dernière produit aussi des aérosols solides (cendres). Environ 10% de celles-ci demeurent dans la chaudière et doivent en être extraites, tandis que le reste est constitué pour la plupart de particules extrêmement fines qui sont emportées avec les fumées; ce sont les cendres volantes.

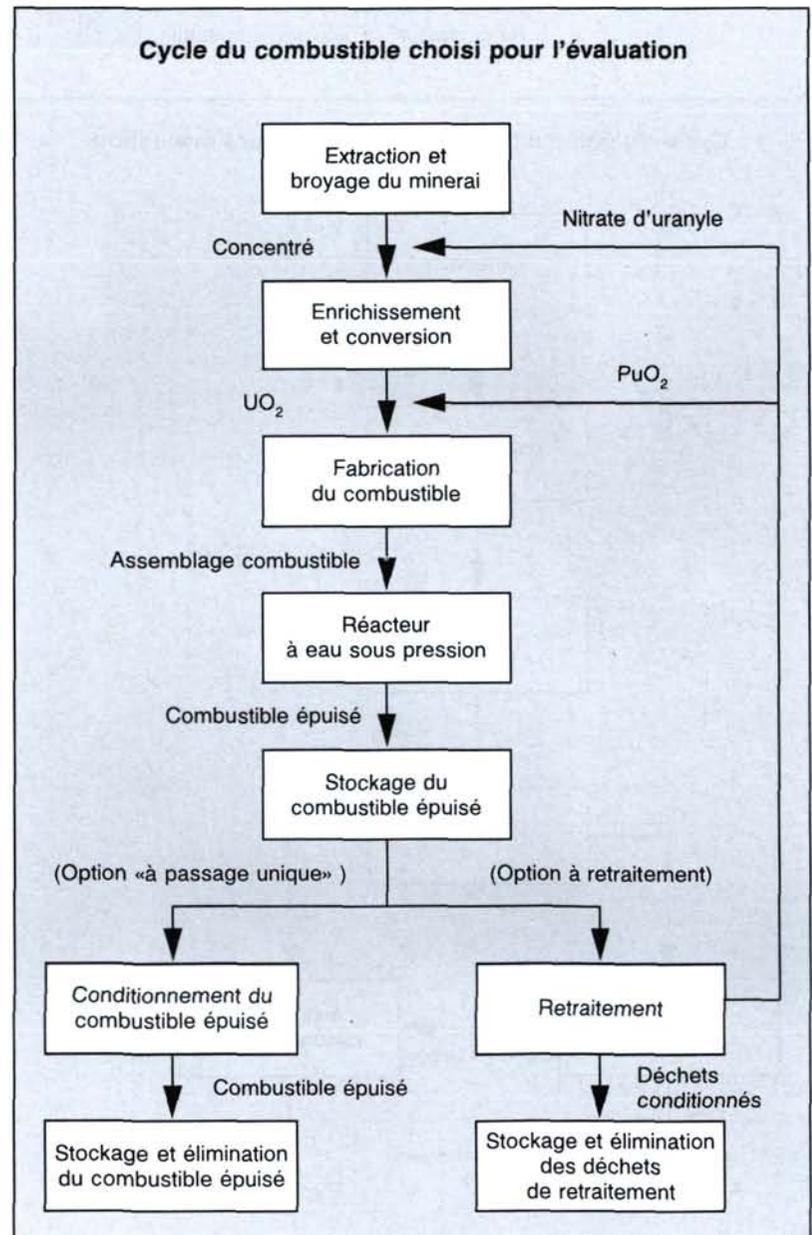
Le déclassé d'une centrale à combustible fossile a lieu peu après la fin de la période utile de la centrale; les déchets qui en résultent proviennent pour la plupart de la démolition et ne présentent généralement pas de risques particuliers.

Déchets nucléaires. Comme dans les cycles des combustibles fossiles, des déchets apparaissent à chaque stade du cycle du combustible nucléaire.

Production de déchets radioactifs conditionnés

Opération	Catégorie des déchets	Unité	Quantités		
			Minimum	Référence	Maximum
Extraction et broyage	FA	m^3/a	20 000	40 000	60 000
Conversion et enrichissement	FA	m^3/a	20	20	20
Fabrication	FA	m^3/a	20	30	30
Exploitation de la centrale	FA	m^3/a	100	130	200
	AI	m^3/a	50	80	100
Retraitement	C1	m^3/a	3,5	4	4
	C2	m^3/a	20	22	25
	AI	m^3/a	50	75	100
	FA	m^3/a	470	580	690
Combustible épuisé (non conditionné et passage unique)		t/a	25	30	35

FA: Faible activité; AI: Activité intermédiaire.



Déchets du charbon après traitement

	Débit de déchets (g/kWh)
NO _x	0,25
SO ₂	0,32
Cendres volantes dans l'air	0,07
Cendres volantes recueillies	3,02
Gypse	2,10

Au niveau de l'extraction, les déchets sont constitués principalement par les eaux de la mine et les terrils de rocaillles stériles. Les résidus de broyage du minerai d'uranium sont généralement analogues aux déchets de la mine, mais ils contiennent pratiquement tous les descendants radioactifs naturels provenant de la désintégration de l'uranium.

Les opérations de conversion et d'enrichissement produisent des déchets solides et gazeux ayant une faible teneur en aérosol d'uranium. De plus, les

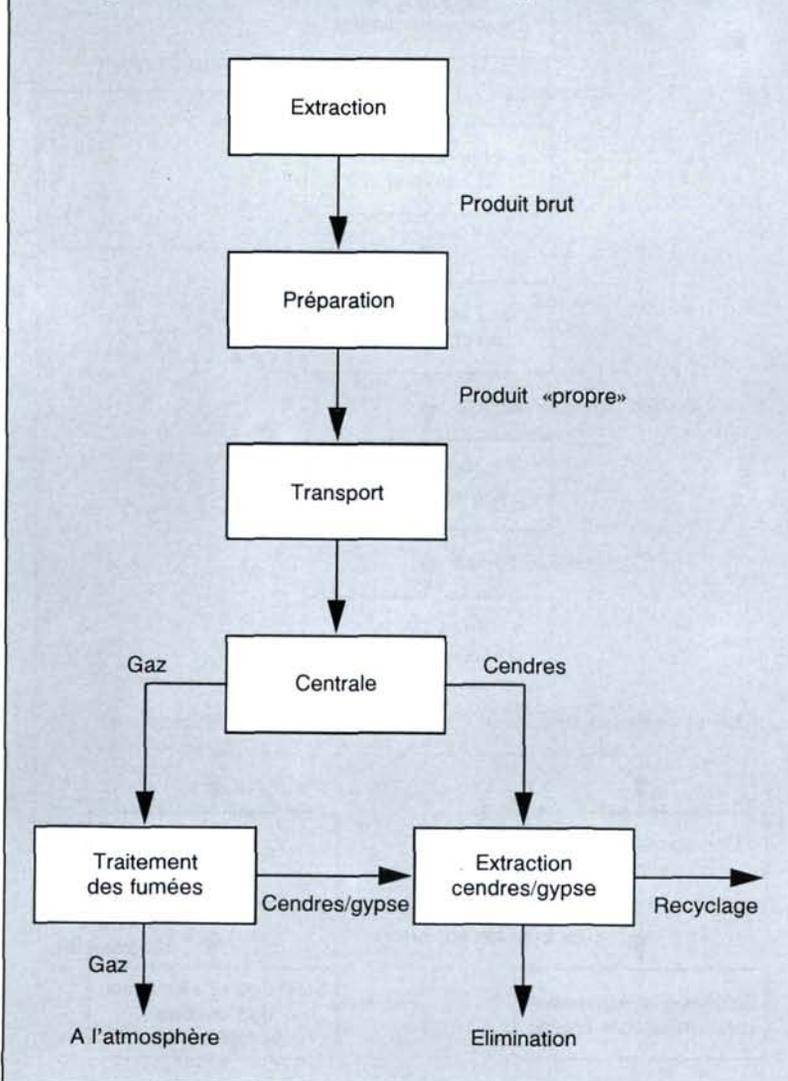
installations d'enrichissement produisent de grandes quantités d'uranium appauvri considéré comme un déchet aux fins de notre étude.

Selon que le combustible est retraité ou non, les déchets de sa fabrication sont divers effluents solides et liquides contaminés par l'uranium et/ou le plutonium.

Divers déchets liquides d'une centrale nucléaire contiennent de la radioactivité. De plus, le fonctionnement d'un réacteur produit des effluents gazeux en petites quantités ainsi que toute une série de déchets solides sous forme de composants contaminés ou activés.

La radioactivité contenue dans les déchets de retraitement provient en grande partie des produits de fission et d'activation et consiste aussi en actinides mineurs qui s'introduisent dans l'installation avec le combustible épuisé. Ils se présentent sous la forme de divers déchets solides et liquides.

La radioactivité de certains des composants des installations du cycle du combustible nucléaire exige l'emploi de techniques onéreuses de télémanipulation au moment du déclassement de l'installation. Le coût et la fréquence de ces opérations peuvent être réduits si l'on retarde le travail pour laisser décroître la radioactivité. En ce qui concerne les centrales nucléaires, le déclassement différé est une tactique communément appliquée dans l'ensemble du monde et c'est celle que l'on a choisie comme référence aux fins de l'évaluation. La plupart des déchets radioactifs du déclassement des installations du cycle du combustible nucléaire sont des déchets solides de faible activité. Les déchets d'activité intermédiaire sous formes de petits composants et les déchets transuraniens de forte activité proviennent du retraitement du combustible épuisé et de la fabrication du combustible à mélange d'oxydes.

Cycle du combustible fossile choisi pour l'évaluation**Gestion des déchets**

Déchets des combustibles fossiles. Le gros problème de gestion du cycle du charbon est celui des rebuts de la mine. Leur évacuation présente d'assez grandes difficultés. Une des solutions possibles consiste à les utiliser pour remblayer la mine d'où ils proviennent.

Quant aux effluents gazeux d'une centrale au charbon, leur traitement implique trois opérations: l'extraction de NO_x, la réduction de SO₂ et le filtrage des particules. S'il s'agit du gaz naturel, le seul problème que présente la gestion des gaz de combustion que l'on puisse actuellement résoudre est celui des oxydes d'azote.

On peut réduire NO_x dans une modeste mesure en corrigeant le processus de combustion. Le procédé le plus efficace demeure néanmoins la réduction catalytique sélective à base d'ammoniac et d'un catalyseur qui réduit NO_x en azote et en eau. Le rendement est d'environ 80%. Le catalyseur est le seul déchet dont il faut se débarrasser après l'opéra-

tion. En revanche, le composant principal peut être renvoyé aux fournisseurs pour être réutilisé.

La désulfuration des fumées se fait par absorption de l'anhydride sulfureux dans des matières alcalines. C'est une opération coûteuse et d'envergure, car il faut traiter de gros volumes de gaz à très faible teneur en SO₂. De grandes quantités de matières (gypse) sont produites par la réaction de l'anhydride sulfureux avec le réactif. On peut en traiter une partie pour fabriquer des panneaux de revêtement de bonne qualité, le reste servant de remblayage. Le rendement du procédé est généralement de 95%.

L'extraction des aérosols solides se fait le plus souvent à l'aide de précipitateurs électrostatiques dont le rendement est normalement de 95%. Une partie des cendres volantes et de fonds peut être utilisée dans les cimenteries et les travaux publics de voirie, et le reste est évacué comme remblayage.

Actuellement, on ne connaît pas de techniques rentables pour réduire les émissions de CO₂ et l'on n'a fait aucune tentative pour extraire les radionucléides des effluents gazeux. Après le traitement des déchets, les divers résidus sont rejetés dans l'environnement (voir le tableau).

Déchets nucléaires. Diverses techniques sont actuellement utilisées pour la gestion des déchets radioactifs. Elles vont du rejet direct dans l'environnement (dispersion) à des procédés sophistiqués d'immobilisation des radionucléides en vue de leur stockage définitif dans des installations soigneusement étudiées et aménagées.

Résidus d'extraction et de broyage. Tous les déchets résultant du broyage des minerais d'uranium sont traités avant leur évacuation, leur isolement se faisant généralement sur place sous couverture afin de réduire la dispersion de la radioactivité.

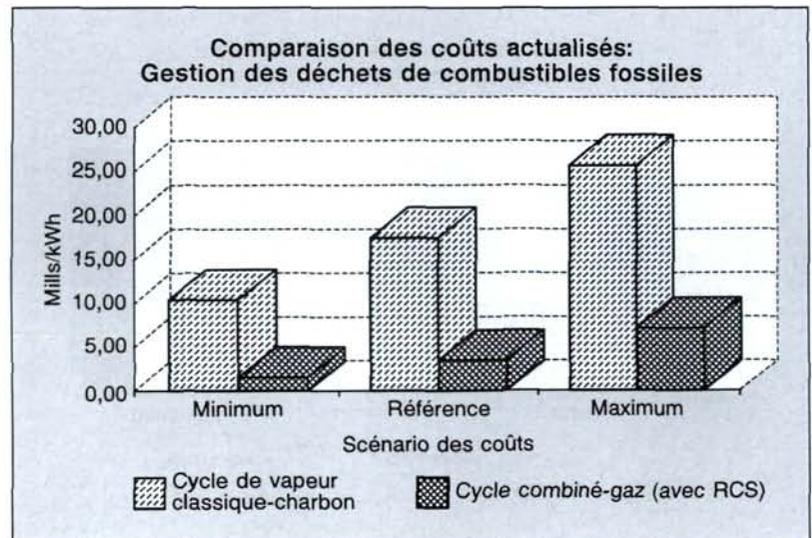
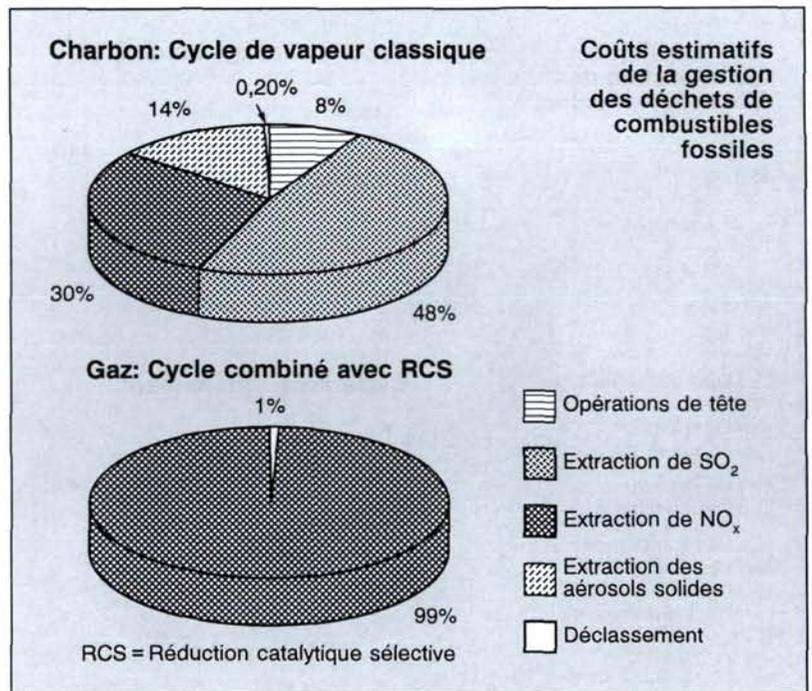
Déchets liquides. Le traitement de déchets liquides est un volet important du programme de gestion des déchets de la plupart des installations nucléaires. L'option choisie dépend de la nature et de la quantité des déchets à traiter. Le petit volume de déchets liquides porteur de radionucléides de courte période peut être rejeté dans l'environnement. Les déchets à forte teneur en sels peuvent être évaporés, les matières radioactives étant retenues dans le concentrat, ou encore être précipités chimiquement afin d'obtenir une boue se prêtant à un traitement ultérieur. Certains effluents liquides peuvent être absorbés sur des matrices solides qui elles aussi seront traitées ultérieurement. On a aussi parfois recours à l'incinération pour réduire le volume d'huiles et de solvants combustibles radioactifs. Les concentrés de déchets de faible et moyenne activité sont enrobés dans du ciment ou du bitume puis enfermés dans des conteneurs appropriés.

Les effluents liquides de haute activité d'une installation de retraitement contiennent presque tous les produits de fission engendrés dans le combustible. Actuellement, ces déchets sont incorporés à du verre que l'on verse à l'état liquide dans des conteneurs en acier inoxydable pour les évacuer

ensuite dans un dépôt en profondeur (ces déchets de haute activité sont calorifiques et classés dans la catégorie C1 aux fins de notre évaluation).

Déchets gazeux. Les déchets gazeux radioactifs sont généralement rejetés dans l'atmosphère selon les spécifications de la réglementation pertinente. S'il le faut, ils sont traités avant leur évacuation afin que les limites de rejet réglementaires ne soient pas excédées.

Déchets solides. Outre les déchets de retraitement vitrifiés dont on vient de parler, les déchets solides comprennent les coques de gainage et autres structures des assemblages combustibles (catégorie C2), les filtres, le matériel usagé, les résines et les boues, les résidus solides d'épuration et les ordures en général. Tous ces déchets, exceptés ceux de très



faible radioactivité, devront être traités et conditionnés.

Ces opérations impliquent la réduction en volume, la conversion en forme plus stable et l'emballage. Les divers stades de la gestion des déchets de cycle du combustible des réacteurs à eau sous pression retenus pour notre étude génèrent des quantités variables de déchets solides conditionnés (voir le tableau, page 29).

Leur dépôt dans un espace spécialement aménagé, soit en couche géologique profonde ou près de la surface, contribue à maintenir le transport éventuel des radionucléides dans l'environnement à des niveaux acceptables. Avec le cycle à passage unique, le combustible épuisé est stocké pendant de longues périodes qui peuvent être de plusieurs décennies,

pour que la radioactivité et la chaleur de désintégration puissent se dissiper avant le stockage définitif.

Méthodologie d'évaluation des coûts

La valeur de chaque composante des coûts de la gestion des déchets a été extraite des évaluations existantes. Pour que la comparaison des coûts soit valable, les données brutes ont été ajustées, le cas échéant, et appliquées aux cas choisis comme référence. Enfin toutes les estimations ont été ramenées à une base commune exprimée en coût unitaire actualisé de l'énergie chiffré en dollars des Etats-Unis (valeur postérieure au 1er juillet 1991) et par kilowattheure. Cette base unitaire est définie de telle façon que la valeur actuelle des divers coûts s'obtient en multipliant le coût unitaire actualisé par le nombre d'unités (kilowattheures) pour chaque période. Afin de situer les coûts de gestion des déchets sur un même plan aux fins de la comparaison, il faut ramener tous les coûts successifs à une valeur commune en leur appliquant l'escompte. C'est la procédure généralement adoptée pour les évaluations économiques car elle facilite la comparaison d'options d'investissements impliquant différentes mises de fonds étalées dans le temps.

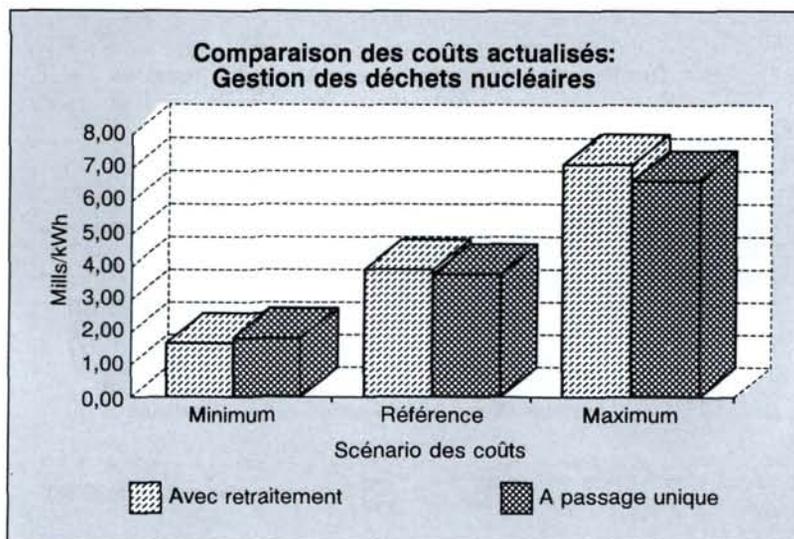
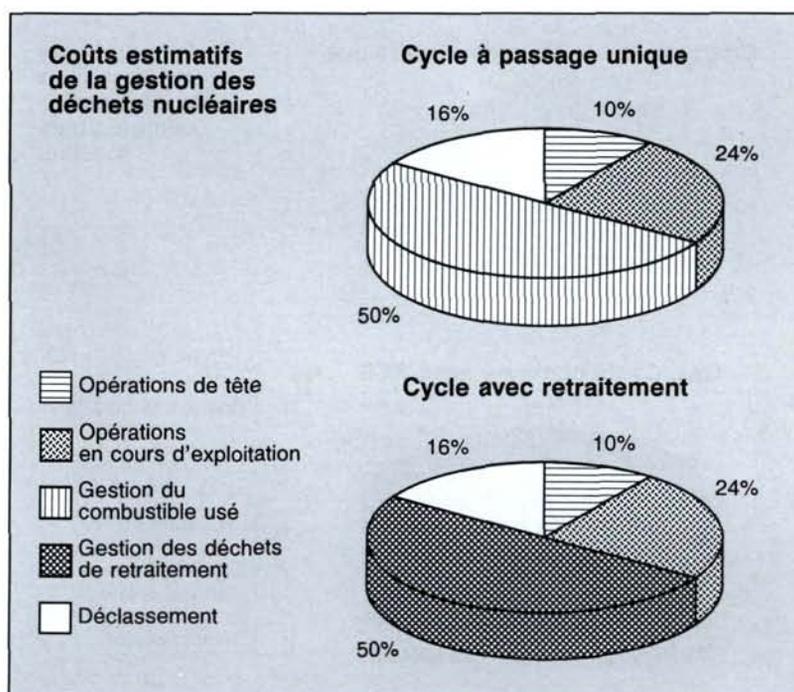
Le principal inconvénient du recours à la technique de l'escompte pour évaluer le coût de l'énergie d'origine nucléaire est que cette méthode est appliquée à d'importants courants de dépenses longtemps après que la centrale nucléaire a cessé de produire de l'électricité. Cette critique a à voir avec l'équité entre générations, c'est-à-dire la mesure dans laquelle les consommateurs d'électricité assument la totalité des coûts du service qu'ils obtiennent et la mesure dans laquelle les générations futures assumeront des coûts sans en tirer aucun profit.

Pour résoudre ce problème, les cas de référence sont fondés sur un taux réel d'escompte de 5% jusqu'à la fin de la durée utile de la centrale et un taux nul par la suite. Ce taux de 5% est en faveur dans de nombreux pays de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE). De plus, on a testé la sensibilité des résultats à divers facteurs: le taux d'escompte, le facteur de charge et la durée utile de la centrale.

Indications sur les coûts

Cycle des combustibles fossiles. Pour les deux cycles considérés, les coûts actualisés de la gestion des déchets se situent à peu près entre 0,5 et deux fois ceux des cas de référence (voir les graphiques).

Si l'on compare les différentes composantes de ces coûts, on constate que l'extraction de SO₂ représente à elle seule environ 48% des coûts de gestion des déchets d'une centrale au charbon à cycle de vapeur classique. Pour une centrale à cycle combiné, 99% de ces coûts reviennent au déclassement.



Les coûts de gestion des déchets des combustibles fossiles se situent entre pratiquement zéro et environ 25 mills par kWh (25 millièmes de dollar des Etats-Unis). Ils devraient se maintenir dans cette fourchette compte tenu des variations normales du facteur de charge, du taux d'escompte ou de la durée utile. Les valeurs inférieures correspondent aux centrales au gaz et les valeurs supérieures aux centrales au charbon. Des coûts de gestion des déchets de cet ordre ne représentent qu'une petite fraction du coût global de la production d'électricité en charge de base à l'aide de combustibles fossiles. Le montant total des coûts actualisés de cette option se situe généralement entre 40 et 60 mills par kWh.

Cycle du combustible nucléaire. Les coûts de la gestion des déchets des deux cycles du combustible considérés sont du même ordre (*voir les graphiques*).

Dans les deux cas, les opérations de tête représentent environ 10% du coût total. Environ un tiers de cette fraction est imputable à la gestion de l'uranium appauvri considéré comme déchet. Par ailleurs, la gestion des déchets d'exploitation de la centrale compte pour environ 24%, et 15% sont imputables au déclassement de l'installation. Les 50% restants représentent le coût des opérations de queue du cycle du combustible.

Ces coûts de gestion des déchets nucléaires varient entre 1,6 et 7,1 mills par kWh. Comme dans le cas du cycle des combustibles fossiles, ils ne représentent qu'une fraction faible à modérée du prix de revient de l'électricité produite; à titre de comparaison, notons que celui-ci varie entre 30 et 50 mills par kWh.

Comparaison. Les coûts de la gestion des déchets dans les deux cas nucléaires se situent entre ceux des deux options à combustible fossile. Ils sont très proches des coûts pour les centrales à gaz à cycle combiné, qui correspondent à la partie inférieure de la fourchette. L'option au charbon, qui se place à la partie supérieure, implique des coûts de gestion des déchets à peu près quatre fois supérieurs à ceux des options nucléaires.

Tandis que dans le cas de celles-ci le rapport entre les valeurs inférieures et les valeurs supérieures est de un à quatre, dans le cas de l'option fossile il n'est que de deux ou moins. Cette différence peut s'expliquer en partie par le fait que les coûts de l'option fossile sont fondés sur une technologie confirmée, tandis que dans le cas nucléaire une composante importante des coûts correspond à des opérations de gestion des déchets encore à l'épreuve. En effet, s'il est vrai que le traitement des fumées est une technique relativement nouvelle, plusieurs installations sont déjà en service et l'estimation des coûts est plus sûre que dans le cas de certaines techniques de gestion des déchets nucléaires, tels le déclassement et le stockage dans des dépôts profonds. Il s'ensuit que, dans le cadre de notre évaluation, les coûts de la gestion des déchets nucléaires sont moins certains que les coûts correspondant aux déchets d'origine fossile. La différence

entre les fourchettes est aussi due en partie aux conditions locales variables, dont la réglementation.

Evolution possible dans l'avenir

En ce qui concerne l'option nucléaire, on ne prévoit pas de changements majeurs dans les pratiques ou les prévisions concernant la gestion des déchets. Certaines éventualités pourraient néanmoins, dans l'avenir, influencer sur les coûts de la gestion des déchets. Nous pensons par exemple aux tentatives de prolongation de la combustion nucléaire, à l'amélioration de la gestion des centrales et au recours à des techniques plus perfectionnées et plus efficaces de traitement des déchets, telles que le supercompactage, la biodégradation, l'incinération et le brûlage par torches à plasma, autant de nouveautés qui promettent d'abaisser les coûts de la gestion des déchets nucléaires. De même, l'avenir verra la mise au point des dépôts à grande profondeur et apportera une meilleure connaissance des problèmes de déclassement. Ces deux derniers aspects comportent le risque que les coûts seront peut-être plus élevés qu'on ne le pense, mais ils sous-entendent aussi moins de doutes quant aux coûts de la gestion des déchets nucléaires.

Pour ce qui est de la gestion des déchets d'origine fossile, une des tendances marquantes sera probablement la généralisation de techniques propres de combustion du charbon. L'environnement en sera partiellement soulagé et les coûts de la gestion des déchets baisseront grâce à une technologie qui permettra de mieux intégrer le contrôle des émissions dans le processus de production d'électricité. En ce qui concerne les centrales à combustible fossile, il se peut aussi qu'intervienne une réglementation relative aux émissions de CO₂, ce qui pourrait impliquer la mise au point de solutions techniques telles que l'évacuation du CO₂ dans des gisements de gaz épuisés, sous les fonds marins, ou le prélèvement d'un impôt sur le carbone, deux initiatives qui pourraient accroître sensiblement les coûts de gestion des déchets d'origine fossile.

Dans les deux cas qui nous occupent, il est également possible que les réglementations en vigueur soient renforcées. Il se peut que les coûts résiduels au titre de l'environnement doivent alors être assumés par les compagnies d'électricité, ce qui, une fois encore, ferait augmenter les coûts.

Renforcement de la sûreté nucléaire et radiologique dans les pays de l'ex-URSS

Le PNUD et l'AIEA collaborent avec les nouveaux Etats indépendants à l'organisation de leurs services de sûreté nucléaire

par Morris Rosen

Au début de 1994 sera intégralement mis en œuvre un programme international de plusieurs millions de dollars qui vise à fournir une assistance pratique aux Etats issus de l'ex-Union soviétique dans le domaine de la sûreté nucléaire et radiologique.

L'initiative vient d'un Forum sur l'échange d'informations réuni à l'échelon ministériel au Siège de l'AIEA, du 4 au 7 mai 1993. Les hauts fonctionnaires d'Etats qui y participaient ont exposé les programmes en vigueur dans leurs pays respectifs ainsi que leurs difficultés, leurs besoins et leurs priorités, en vue notamment d'aider à déterminer comment utiliser au mieux l'assistance prévue au titre de ce programme international. Celui-ci est une entreprise commune de l'AIEA et du Programme des Nations Unies pour le développement (PNUD). Il fait appel aux gouvernements, aux organismes financiers internationaux et à l'industrie privée pour obtenir des fonds et d'autres moyens à l'appui des services d'assistance.

Le programme est conçu pour les domaines non couverts par l'action internationale en cours visant à aider les pays d'Europe centrale et orientale en matière d'énergie d'origine nucléaire. Il s'agit des programmes bilatéraux et multilatéraux d'assistance destinés à améliorer la sûreté des centrales nucléaires, complétés par un dispositif de coordination mis en place par le Groupe des 24 de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) par l'intermédiaire de la Commission des Communautés européennes (CCE) de Bruxelles. De son côté, l'AIEA a entrepris des programmes exhaustifs intéressant les diverses générations de réacteurs à eau légère sous pression, les VVER, et les réacteurs RBMK modérés au graphite. Ces réacteurs sont situés en Lituanie, en Russie et en Ukraine, trois pays qui ont fait partie de l'ex-URSS, ainsi qu'en Bulgarie, en Hongrie, en République slovaque et en République tchèque.

M. Rosen est directeur général adjoint pour la sûreté nucléaire, à l'AIEA.

Il n'y a pas eu d'initiatives collectives pour l'examen du problème de plus grande envergure que pose la sûreté des réacteurs de recherche, des mines d'uranium et des installations de traitement du minerai, ainsi que des installations contenant des sources radioactives utilisées en médecine, en agriculture et dans l'industrie. Le nouveau programme commun profite de la grande expérience que l'AIEA a acquise en mettant sur pied des infrastructures de sûreté, y compris des cadres juridiques et réglementaires, avantages auxquels s'ajoute la faculté du PNUD d'obtenir des fonds et de former un personnel capable de gérer l'assistance. Impartial et universel, le système des Nations Unies est en mesure de proposer aux gouvernements et aux organismes donateurs un mécanisme adapté à la fourniture d'assistance. Des bureaux intégrés des Nations Unies ont été ouverts dans la plupart des nouvelles républiques indépendantes pour mieux coordonner l'action des organisations du système des Nations Unies.

Les premiers pas

Le programme commun a été conçu comme une opération en trois temps qui a débuté par le Forum de Vienne auquel étaient représentés l'Arménie, l'Azerbaïdjan, le Bélarus, l'Estonie, la Géorgie, le Kazakhstan, le Kirghizistan, la Lettonie, la Lituanie, la Moldavie, l'Ouzbékistan, la Russie et l'Ukraine (*voir les cartes*). Deux des nouvelles républiques indépendantes, le Tadjikistan et le Turkménistan, n'y ont pas assisté. Le Forum a recueilli une information suffisamment détaillée pour esquisser un plan d'action. On a estimé que les programmes d'assistance par pays devraient prévoir la fourniture d'un matériel moderne associé aux services d'experts et aux services consultatifs. L'échange d'informations et les activités de formation comportant des ateliers et des visites scientifiques pourraient aussi jouer un rôle important en facilitant le contact nécessaire avec les milieux scientifiques internationaux et les pratiques internationales.

Le financement pourrait être un facteur limitatif de l'assistance; aussi des observateurs de pays et d'organismes financiers éventuellement donateurs ont-ils été invités à ce forum viennois. Citons parmi eux la Commission des Communautés européennes, le Groupe des 24, la Banque européenne pour la reconstruction et le développement et la Banque mondiale.

Quelques-uns des grands problèmes

Des consultants de l'AIEA ont suivi les débats du forum et ont eu des discussions approfondies avec des participants au sein de groupes de travail spéciaux. Ils sont parvenus à la conclusion claire et nette qu'il y a grand besoin de créer un potentiel national pour occuper le vide résultant de la dislocation de l'ex-Union soviétique.

Tous les pays disposaient de moyens de protection radiologique mais les directives et les conseils venaient des organismes fédéraux de l'ancienne Union soviétique. Le démembrement de l'Union a rompu ces arrangements et éliminé l'autorité centrale basée à Moscou. La création de nouvelles autorités et institutions nationales autonomes soutenues par une législation et des normes est devenue un souci prioritaire. Tandis que des structures nationales sont mises en place, il y a chevauchement de compétences dans certains domaines et pénurie dans d'autres. Les ministères de la santé publique et ceux qui ont la charge de l'environnement et de l'industrie ainsi que les comités et instituts d'Etat pourraient tous se mettre à la tâche.

Autorités et institutions devront développer leurs capacités dans les domaines de la politique aussi bien que de la technique. La plupart des délégations ont souhaité l'organisation de cours pour enseigner les pratiques internationales. La connaissance de normes de protection acceptées dans le monde entier, par exemple les *Normes fondamentales de l'Agence pour la protection contre les rayonnements ionisants et pour la sûreté des sources de rayonnements*, est une condition nécessaire à la création de nouvelles infrastructures de sûreté.

Certains problèmes sont communs. Tous les pays possèdent des sources radioactives utilisées en thérapie et en radiographie industrielle et parfois aussi dans les procédés de stérilisation. Il existe aussi des sources de composition et de radioactivité inconnues qui ont été abandonnées et dont on ignore l'emplacement. La sûreté des dépôts de déchets à faible profondeur dans le sol qui ont existé dans la plupart des pays depuis le début des années 50 n'a pas été vérifiée ou est insuffisante dans certains cas. Sur les sites d'extraction et de broyage des minerais d'uranium, il existe des problèmes de stabilisation des déblais et des résidus. Viendra le jour où il faudra s'occuper du déclassement des réacteurs de recherche et des installations du cycle du combustible.

Les moyens d'intervention en cas d'urgence sont dans l'ensemble très insuffisants, notamment pour assurer les communications et les analyses radiologiques. Plusieurs pays se sont également posés des questions au sujet de la sûreté nucléaire dans des républiques voisines.

Premières missions d'enquête

La deuxième partie du programme est en cours: des missions d'enquête composées d'experts doivent visiter chaque pays et termineront leurs travaux au début de 1994. Elles permettront de détailler l'assistance en fonction des circonstances particulières à chaque pays et de prendre des dispositions s'adressant à des groupes d'anciennes républiques soviétiques ayant des besoins analogues.

Les premières missions ont eu lieu en juillet 1993 pour le Kazakhstan, l'Ouzbékistan et le Kirghizistan (*voir l'encadré et les cartes*). Elles se composaient de fonctionnaires de l'Agence et d'un consultant ayant participé au forum de Vienne. Elles ont examiné des réacteurs de puissance et de recherche, des installations d'extraction et de broyage des minerais d'uranium, et les principaux établissements utilisant des sources radioactives en médecine et pour la recherche. Les discussions ont essentiellement porté sur le cadre juridique à prévoir pour l'exploitation de l'énergie nucléaire; la réglementation notamment en matière d'homologation et de surveillance des sources radioactives et de sûreté des travailleurs sous rayonnements; la surveillance et la protection de l'environnement; le traitement des déchets, le dispositif d'intervention.

Dans les trois pays visités, les hauts fonctionnaires qui avaient assisté au forum de Vienne ont activement participé aux débats et à la conclusion des arrangements nécessaires. Voici quelques-unes des principales constatations faites par ces missions d'enquête.

Situation juridique et réglementaire. Tandis que l'on assiste dans chaque pays à une réorganisation du contrôle des activités concernant la sûreté, de nombreuses instructions et normes de sûreté sont toujours en vigueur. On estime généralement qu'il faut rapidement aller de l'avant mais les délais dépendront des priorités fixées par les gouvernements pour la réorganisation. Dans l'intervalle, les organismes et les réglementations provisoires seront probablement maintenus. La documentation sur la sûreté de l'ex-URSS existe toujours, mais il semble y avoir peu de documents nationaux ou internationaux que l'on puisse consulter. Une coopération constructive avec la Russie sera essentielle car beaucoup de données pertinentes et des renseignements sur la conception de diverses installations nucléaires se trouvent encore dans le pays.

Personnel. Il existe un personnel administratif et technique compétent; toutefois, leur expérience se limite à l'exploitation des installations dans le sys-

**Quelques
données
sur les pays
visités**

Au titre du projet international PNUD-AIEA, des experts se sont rendus dans plusieurs pays pour préparer le terrain en vue de l'assistance future. Les pays suivants ont été visités en juillet 1993 :

Kazakhstan. Population: 16,7 millions d'habitants; superficie: 2,7 millions de kilomètres carrés. Capitale: Alma Ata. Le Kazakhstan a proclamé son indépendance en décembre 1991. C'est un pays riche en ressources minérales. Les industries les plus importantes sont les charbonnages, la production de pétrole et de produits chimiques, la métallurgie des non-ferreux et l'industrie lourde. Pays essentiellement d'élevage à l'origine, le Kazakhstan produit maintenant des céréales, du coton et autres denrées.

Dans le domaine nucléaire il existe trois réacteurs de recherche à Semipalatinsk, qui était le centre de l'armement nucléaire entre 1949 et 1989; un réacteur de recherche à Alma Ata; un réacteur surgénérateur dans la banlieue d'Aktau; diverses mines d'uranium et installations de retraitement des minerais; un institut de physique nucléaire près d'Alma Ata; divers sites de stockage des déchets nucléaires près d'Alma Ata et d'Aktau.

Kirghizistan. Population: 4,4 millions d'habitants; superficie: 200 000 kilomètres carrés. Capitale: Bishkek. Le Kirghizistan a proclamé son indépendance en septembre 1991. On y trouve plus de 500 établissements industriels d'importance, dont des raffineries de sucre, tanneries, installations de débouillage du coton et de la laine, minoteries, une fabrique de tabac, des conserveries, tissages, constructions métalliques, usines métallurgiques, pétrole et mines. Le pays est un centre d'élevage connu.

Dans le domaine nucléaire, l'activité principale est l'extraction du minerai d'uranium.

Ouzbékistan. Population: 20,3 millions d'habitants; superficie: 450 000 kilomètres carrés. Capitale: Tashkent. Le pays a proclamé son indépendance en août 1991. Quelque 1600 établissements industriels y sont implantés; le pétrole, le charbon, le cuivre et les matériaux de construction sont les principales exportations. L'agriculture intensive sous irrigation produit du coton, du riz et des fruits.

Les installations nucléaires comprennent un réacteur de recherche près de Tashkent, une source de neutrons pulsés de 15 kW à l'Institut de physique nucléaire; une mine d'uranium et une installation de traitement des minerais, et un dépôt central de déchets nucléaires.



Mine d'uranium
à ciel ouvert
à Uchkouduk,
Ouzbékistan.
(Photo:
C. Bergman, AIEA)



tème de l'ex-URSS. Le personnel des services d'homologation et d'inspection semble avoir une bonne formation théorique mais manque d'expérience pratique.

Il s'est produit un «exode des cerveaux» avec le départ du personnel russe du fait des décisions qui allaient être prises en ce qui concerne la nationalité et la langue. Au Kazakhstan, les populations kazakh et russe sont presque équivalentes et représentent 40% du total. La composante russe de la population est de 21% au Kirghizistan et de 8% seulement en Ouzbékistan. Les scientifiques russes ont joué un rôle important dans nombre d'établissements industriels et scientifiques. En particulier, l'exploitation du réacteur surgénérateur BN-350 du Kazakhstan pourrait beaucoup souffrir de la perte de personnel technique et administratif hautement qualifié.

Par ailleurs, la création de nombreux organismes gouvernementaux nouveaux a fait que des personnes de valeur ont dû être réaffectées. La nécessité d'installer des missions diplomatiques dans le monde entier a créé un besoin non seulement de scientifiques politiques mais aussi de techniciens spécialisés. La mission de l'AIEA a été le premier visiteur officiel du nouveau ministre des affaires étrangères de l'Ouzbékistan qui venait d'assumer ses fonctions; les deux ministres précédents ont été mutés dans des ambassades.

Installations et matériels. De nombreuses installations et une bonne partie du matériel scientifique sont vétustes. La mission a été informée à maintes reprises de la pénurie et des insuffisances générales du matériel, notamment de divers instruments de mesure courants. Le pays manque d'ordinateurs et de logiciels modernes pour le stockage de l'information et il existe un besoin général de réseaux de communication directe et rapide, non seulement avec l'étranger mais aussi dans le pays même.

Il faudra analyser les installations et les équiper de matériel moderne pour amener les opérations au niveau international. Il sera néanmoins difficile, à court terme, de répondre aux nombreuses demandes de matériel tant qu'on ne sera pas mieux informé du programme de travail prioritaire et du personnel disponible. Les demandes de matériel devront être coordonnées à l'échelon national.

L'efficacité du personnel administratif et technique de nombreux établissements industriels, scientifiques et médicaux visités est un bon signe et se voyait non seulement d'après les connaissances techniques mais aussi à la propreté et à l'ordre plutôt satisfaisant qui régnaient dans les installations, notamment auprès du réacteur de puissance BN-350 du Kazakhstan. La centrale a un excellent dossier d'exploitation et les secteurs visités témoignaient d'un excellent entretien.

Inquiétude du public. Dans les trois pays visités, les missions ont constaté une certaine préoccupation suscitée par les résidus radioactifs des mines d'uranium en exploitation ou désaffectées. Il ne semble pas cependant que ce soit un problème par-

ticulièrement grave. Au Kazakhstan, l'opinion publique est assez montée, à l'origine contre les essais d'armes nucléaires, mais elle pourrait s'en prendre au prochain examen de la sûreté nécessaire à la remise en service du réacteur de recherche de 10 MW. Cette installation, capable de produire des radio-isotopes, est fermée depuis 1988 car ses caractéristiques antisismiques laissent à désirer. La radioexposition et la contamination radioactive résultant des essais d'armes nucléaires dans l'atmosphère, qui ont cessé au début des années 60, sont toujours un sujet de préoccupation parmi la population du Kazakhstan, ainsi que dans les pays voisins.

Premières mesures d'assistance

On constate une lassitude générale à l'égard des missions d'enquête. Une autorité a affirmé que plus de 100 missions écologiques avaient eu lieu au cours des deux dernières années; pratiquement sans effet, quant à l'assistance pratique. Pour rester crédible et soutenir l'intérêt des pays bénéficiaires, le PNUD et l'AIEA devraient rapidement mettre en œuvre leurs programmes communs d'assistance.

Les mesures pratiques dans ce sens, qui pourraient être prises dès la fin de 1993 et au début de 1994, devraient comporter la fourniture de certains appareils de mesure et de surveillance. En outre, il serait possible d'organiser diverses missions consultatives et activités d'assistance spécialisée en matière de sûreté pour compléter les dispositions prises pour faciliter l'échange d'informations, notamment par l'intermédiaire d'ateliers régionaux et de visites scientifiques. Quant aux besoins de manuels et de publications modernes, il faudrait peut-être monter des bibliothèques de documentation de base et prévoir des abonnements aux principales revues scientifiques.

Dans l'esprit de cette approche «sollicitée» au titre du projet commun, l'assistance s'adresserait essentiellement aux besoins spécifiés par les organismes visités. Ces premières mesures à court terme et leur suivi permettront de mieux comprendre les besoins des trois pays.

L'AIEA n'a pas suffisamment de ressources financières et de personnel spécialisé pour fournir toute l'aide nécessaire. Des services d'experts substantiels ainsi que des fonds extrabudgétaires seront nécessaires. Des contacts prometteurs ont déjà été pris avec plusieurs pays et il est possible que certains matériels soient offerts à titre gratuit.

Améliorer la sûreté des centrales nucléaires VVER: priorité à l'assistance technique en Europe centrale et orientale

A l'échelon national et régional, des spécialistes nucléaires s'efforcent d'améliorer la sûreté des centrales au titre de projets de l'AIEA

L'équilibre énergétique en Europe centrale et orientale repose en grande partie sur l'emploi de l'énergie nucléaire. La part de l'électricité d'origine nucléaire est d'environ 20% en République tchèque, 25% en Ukraine, 32% en Bulgarie, 46% en Hongrie et 49% en République slovaque. Le fonctionnement fiable des centrales nucléaires était essentiel au développement économique de ces pays.

Les réacteurs de conception soviétique, plus spécialement les réacteurs à eau sous pression du type VVER, dominant dans la région. Dès le départ, la conception de la sûreté de ces réacteurs était différente de celle des réacteurs occidentaux de même type. Il s'ensuit que les VVER présentent de sérieux inconvénients comparés à leur homologues internationaux. Il y avait, et il y a toujours, grand besoin de transfert de connaissances, notamment en matière de sûreté nucléaire pour faciliter l'information sur les réacteurs à eau sous pression et les infrastructures associées. Il faut en particulier des moyens modernes d'évaluation de la sûreté; des programmes d'assurance de la qualité; une informatisation poussée de l'instrumentation et des systèmes de commande; et recourir à la robotique pour l'inspection en cours d'exploitation, par exemple.

Il ne faut cependant pas généraliser. Tout dépend du modèle particulier de centrale et il s'agit en l'occurrence des anciens modèles VVER-440/230 (en service en Bulgarie, en République slovaque et en Ukraine), puis des VVER-440/213 plus perfectionnés (en service en Hongrie, en République slovaque, en République tchèque et en Ukraine) et enfin des VVER-1000/320 de la dernière génération (en service en Ukraine et en Bulgarie et en construction en République tchèque). On s'accorde pour penser qu'il faut mettre en œuvre un programme

d'amélioration de la sûreté et de transfert de technologie. Il était difficile toutefois de prendre cette initiative dans le passé pour des raisons d'ordre politique et autres propres à la région. Les spécialistes nucléaires locaux connaissaient bien les différences de technologie entre le réacteur à eau sous pression et le réacteur VVER et ont recherché les moyens d'améliorer la situation. Au début des années 80, ils ont demandé l'assistance technique de l'AIEA. Nous nous occuperons ici des projets de cette organisation qui ont été mis en œuvre au cours des dernières années pour améliorer la sûreté des centrales VVER, et nous parlerons aussi de l'avenir, plus spécialement des activités envisagées jusque vers le milieu de la décennie.

par Wiktor
Zyszkowski

Lancement des projets

Dans un premier temps, la fourniture d'assistance technique, en particulier grâce au programme de coopération technique de l'AIEA, constituait un important moyen de transfert de connaissances et de technologie. Bien que les possibilités fussent limitées dans les premières années 80 en ce qui concerne les réacteurs du type VVER, elles se sont améliorées depuis lors. Il en résulte un dispositif très efficace de coopération régionale qui s'est avéré essentiel pour les pays intéressés à renforcer leur potentiel national en matière d'énergie d'origine nucléaire.

En 1984, un des premiers projets régionaux de coopération technique prévoyait l'accès aux moyens informatisés de l'AIEA, ce qui permettait d'utiliser le code de thermohydraulique le plus moderne à l'époque. Des exercices normalisés ont été élaborés pour calculer les effets d'accidents avec perte de caloporteur, ouvrant ainsi des possibilités de coopération régionale et de comparaison des résultats avec ceux qu'obtenaient les spécialistes occidentaux. Une installation d'essais construite à KFKI,

M. Zyszkowski est membre de la Division des programmes de coopération technique, Département de la coopération technique, AIEA.

Budapest, a fourni des données expérimentales sur lesquelles baser la comparaison. La Bulgarie, la Hongrie, la Pologne et l'ex-Tchécoslovaquie ont tiré profit de ces exercices, ainsi que nombre d'autres pays de la région.

En 1988 a été lancé un projet complémentaire axé sur l'analyse de la sûreté des réacteurs du type VVER. Cette activité a été développée pour inclure d'autres domaines, dont la maintenance, la gestion des déchets radioactifs, le cadre réglementaire, et l'envoi de diverses missions d'examen de la sûreté auprès de centrales équipées de réacteurs de ce type.

Renforcer les capacités nationales grâce à la coopération régionale

Un des objectifs à long terme de l'assistance technique fournie aux pays exploitant des centrales VVER est le renforcement de leurs capacités nationales. Cela sous-entend une aide à ces pays pour la création d'une infrastructure leur permettant d'analyser et d'évaluer indépendamment leurs centrales. Plusieurs projets régionaux en sont devenus les principaux vecteurs, à l'intention de la Bulgarie, de la République tchèque, de la République slovaque, de la Hongrie, de la Pologne et de l'Ukraine.

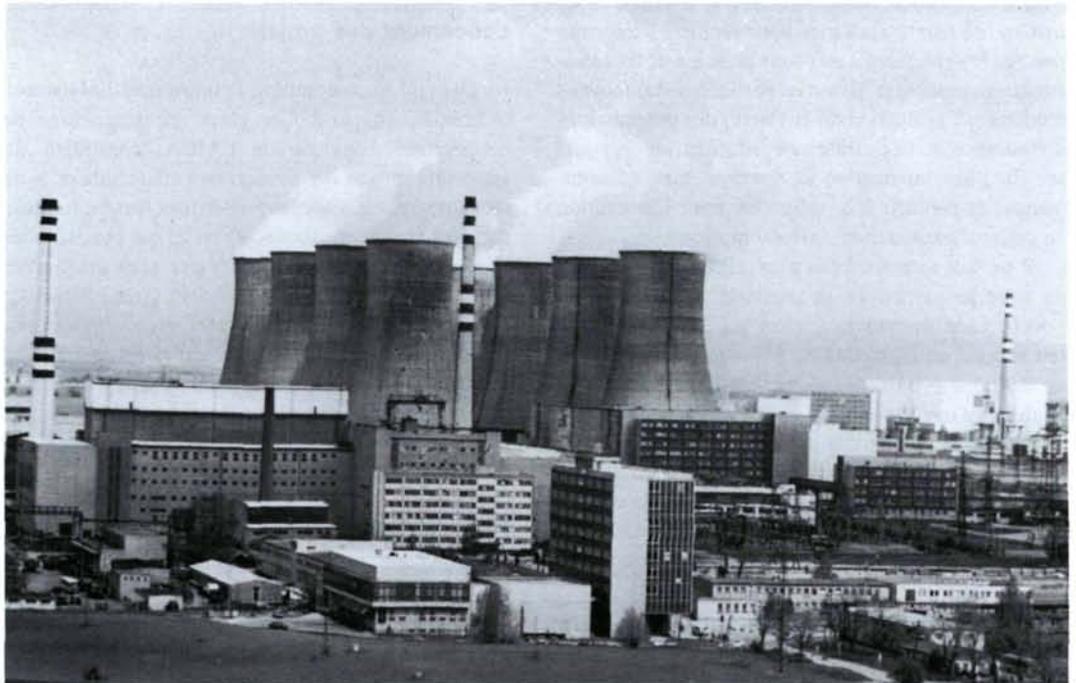
Evaluation de la sûreté. Les réacteurs VVER des pays d'Europe centrale et orientale ont été critiqués en ce qui concerne leur sûreté en général. Il faut, en conséquence, les soumettre à une évaluation complète et à une étude systématique.

Les nouveaux VVER-440/213 possèdent un plus haut degré de sûreté intrinsèque en ce qui concerne la prévention des fuites de radioactivité, qui se rap-

proche des normes occidentales. Ces réacteurs peuvent répondre sans trop de crainte à la question de savoir dans quelle mesure les sécurités incorporées peuvent compenser certaines insuffisances de leurs systèmes de sûreté. Dans le cadre d'un projet régional de l'AIEA, une méthode internationalement agréée est mise au point pour l'évaluation à l'aide des codes informatiques de sûreté les plus récents. Vient en complément une documentation pertinente pour l'évaluation de la sûreté effective de la centrale nucléaire de Bohunice, en prenant le VVER-440/213 comme référence.

Plus précisément, le projet vise surtout la réévaluation de la sûreté par des méthodes et techniques modernes qui permettent de résumer toute l'information disponible sur la doctrine de conception ainsi que les résultats expérimentaux à l'appui de la conception; d'évaluer le bilan d'exploitation d'après les performances et la sûreté de la centrale; d'élaborer des méthodes d'analyse des accidents de référence (AR) et des accidents plus graves encore; de mettre à jour les analyses AR en tant qu'analyses de référence pour l'établissement des rapports de sûreté, de directives d'exploitation et de spécifications techniques (y compris pour les événements extérieurs); de pousser les analyses au-delà des AR et des cas d'accidents graves en prenant tout spécialement en considération la gestion des accidents; d'évaluer les niveaux de sûreté et les marges de sécurité au vu des nouvelles exigences en la matière; de fixer les priorités des améliorations et des adaptations visant la sûreté (en cas de besoin); et de fournir aux organismes réglementaires la base scientifique et technique nécessaire à leurs décisions.

Des tâches spécifiques ont été formulées et réparties entre les participants parmi lesquels on compte



Centrale nucléaire
de Bohunice,
en République slovaque.

19 établissements et plus de 100 spécialistes nationaux. L'aide de l'AIEA consiste à fournir des codes informatiques, des techniques informatiques de pointe, des services d'experts, et à organiser des ateliers, des groupes de travail et d'autres réunions, ainsi qu'à coordonner les activités d'évaluation de la sûreté. Parallèlement, des programmes nationaux exhaustifs financés par le pays même ont été lancés et tirent profit des méthodes et des résultats obtenus dans le cadre du projet régional.

Bien que l'assurance de la qualité soit un souci interne permanent, il est nécessaire pour l'acceptation des résultats qu'ils soient examinés indépendamment par une organisation internationale spécialisée reconnue. Cet examen par des pairs a commencé en 1992 et a été assisté par Tractabel (Belgique), Tecnatom (Espagne) et par la Commission des Communautés européennes (CCE) à Bruxelles. L'achèvement de ce travail est fixé à l'été 1994. Les résultats sont essentiels pour conseiller la méthodologie de la préparation, par les spécialistes nationaux, des évaluations de la sûreté de chaque centrale.

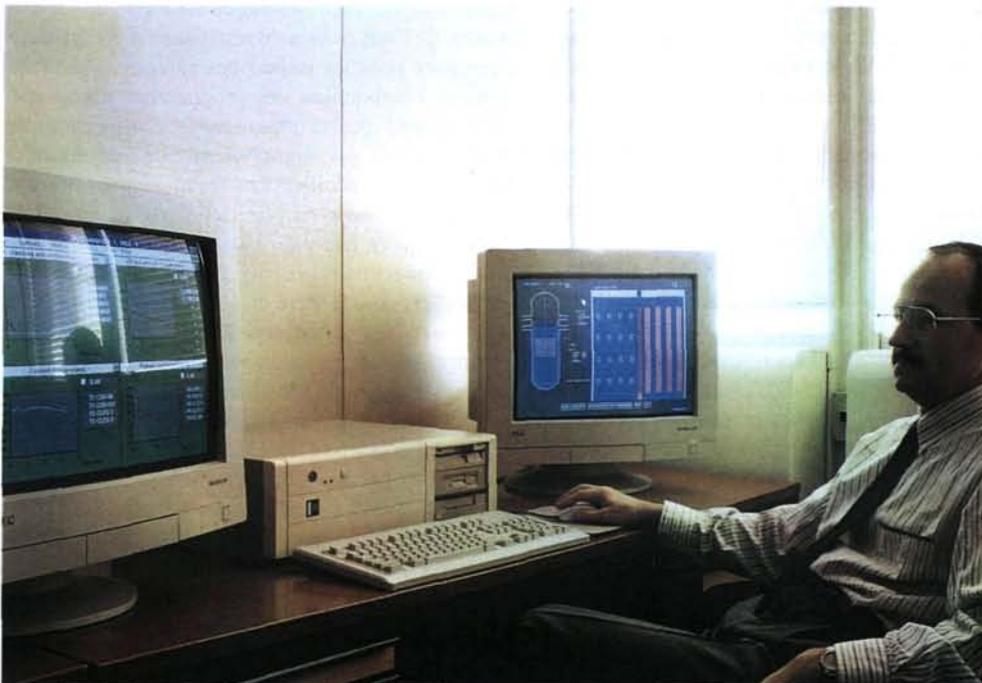
A titre d'exemple de l'utilité de cette coopération régionale, citons la mise au point d'un simulateur d'accidents graves pour la centrale VVER-440/213 de Bohunice, en République slovaque. Ce simulateur est étudié par une équipe internationale de spécialistes en collaboration étroite avec Risk Management Associates, Inc., des Etats-Unis.

Evaluation probabiliste de la sûreté (EPS). Depuis le milieu des années 70, l'approche probabiliste de l'analyse de la sûreté s'est avérée un complément extrêmement utile de l'analyse déterministe normale. Elle fournit tant aux opérateurs qu'aux organismes réglementaires une connaissance supplémentaire de la sûreté des réacteurs. Il s'ensuit que

la plupart des pays qui exploitent des centrales nucléaires ont procédé à une EPS spéciale pour chaque réacteur en exploitation. Les applications qui ont fait leurs preuves sont nombreuses: évaluation/amélioration de la conception et des procédures; optimisation des spécifications techniques et des travaux de maintenance; inspections réglementaires fondées sur l'EPS; évaluation de l'expérience d'exploitation. L'intérêt de procéder à cette sorte d'évaluation a également été reconnu dans tous les pays d'Europe centrale et orientale et l'on y déploie de gros efforts pour mettre en œuvre cette technique.

Un programme régional lancé par l'AIEA en 1988 était la première activité internationale visant à l'application pratique de l'EPS dans les pays qui exploitent des centrales VVER. Au début, le programme était conçu pour former des analystes pour cette méthode et aider à mettre au point une technique EPS type de niveau 1 pour le réacteur VVER. Cela était sensé préparer la mise au point ultérieure de la méthode pour chaque installation. Chaque pays participant (Bulgarie, Hongrie, Pologne, ex-Tchécoslovaquie, avec l'ex-République démocratique allemande et l'ex-Union soviétique comme observateurs) devait modéliser des séquences d'accident pour un certain nombre d'événements déclencheurs. L'Agence a fourni des services d'experts, donné des conseils, et coordonné les travaux principalement par l'intermédiaire de divers ateliers centrés sur des questions précises de méthodologie.

La principale réalisation de la première phase du projet (1988-1991) a été le démarrage de l'application effective de la méthodologie EPS à l'étude et la sûreté des centrales VVER. Pour cela, il fallait adopter et bien comprendre la méthodologie de l'EPS de niveau 1 et se familiariser avec les



Un simulateur d'accident grave dénommé MELSIM est à l'étude dans le cadre d'un projet régional de l'AIEA; il est destiné aux opérateurs des centrales nucléaires VVER-440/213 de conception soviétique. Il s'agit d'un système individuel basé sur ordinateur qui peut également servir à l'évaluation des stratégies de gestion des accidents et à l'analyse des interfaces complexes entre les modes d'exploitation en cas d'urgence et les directives de gestion des accidents. Ce simulateur d'enseignement comporte plusieurs ordinateurs qui traitent simultanément plusieurs aspects des opérations. Nous voyons ici des moniteurs qui visualisent en couleur le fonctionnement de la centrale et permettent d'en suivre l'évolution.

logiciels. Des équipes spéciales ayant une expérience pratique sont maintenant bien en place dans tous les pays participants. Grâce à ce projet de l'AIEA et à une meilleure connaissance des problèmes de sûreté nucléaire, des programmes complets d'EPS ont été lancés dans tous les pays qui exploitent des centrales VVER. Des études EPS sont en cours ou prévues pour pratiquement chaque centrale de la région. Les EPS de niveau 1 pour tous les types de réacteurs VVER (440/230, 440/213 et VVER-1000) seront terminées pour 1994.

Etant donné la structure nouvelle des programmes EPS nationaux, le projet de l'AIEA change d'orientation. Pour la période 1993-1994, l'assistance est axée sur une méthodologie EPS, l'exploitation des résultats de l'analyse et l'assurance de la haute qualité de ces analyses par des examens indépendants.

Le projet a donné d'importants résultats, particulièrement dans des domaines d'intérêt immédiat. Une réunion d'échange d'informations organisée à la centrale nucléaire de Paks en Hongrie, en juin 1993, a permis par exemple la rencontre des équipes EPS et des exploitants de centrales VVER de tous les pays participants. Cette réunion a servi à mettre la dernière main à un document technique décrivant les activités d'acquisition des données et contenant des séries de données spécifiques sur de nombreuses installations.

Un certain nombre de documents antérieurs ont déjà été utilisés pour des EPS de réacteurs VVER. L'un d'eux contient des listes distinctes d'événements déclencheurs génériques spécialement adaptés au VVER-440 et 1000 ainsi qu'une classification remarquable de l'expérience d'exploitation acquise pendant plus de 350 années de réacteur. Etant donné les différences de conceptions et de modes d'exploitation, l'expérience acquise avec les réacteurs à eau sous pression occidentaux ne peut généralement pas servir aux EPS de VVER. Le projet a facilité l'acquisition et l'analyse de données d'expérience sur tous les modèles de VVER.

L'examen indépendant d'une EPS est également important car il éclaire les résultats positifs. Tel est bien le cas en ce qui concerne les EPS de la centrale Kozloduy-3 en Bulgarie, Bohunice-1 en République slovaque et Kola en Russie. Un examen final de l'EPS de la centrale hongroise Paks vient d'être achevé.

D'importants travaux d'application de l'EPS sont prévus pour 1994 et au-delà. L'essentiel de l'effort se fera en 1994 quand il faudra procéder aux EPS de niveau 2 initial, aux analyses des événements extérieurs et à l'étude des risques inhérents à l'arrêt des réacteurs. Le travail facilitera les applications de la méthode, laquelle commence à s'imposer dans les pays possédant des centrales VVER, pour l'étude de la réglementation et de la sûreté d'exploitation. A la centrale de Dukovany, en République tchèque, un système de surveillance du risque est à l'étude et doit être réalisé au début de 1994, et l'on s'attend que

l'EPS servira à fixer les priorités des options d'adaptation. D'autres activités que l'on envisage d'entreprendre après 1994 s'adresseront à la définition du terme source (quantité de matières radioactives qu'un accident peut dégager) en ce qui concerne les VVER, comme base d'une bonne gestion des accidents et d'un dispositif d'intervention permanent et efficace.

Maintenance et entretien des centrales

La maintenance, l'inspection en cours d'exploitation et l'assurance de la qualité sont considérées comme les points faibles de la gestion des réacteurs VVER et font désormais partie des projets de coopération technique de l'AIEA dans le cadre des programmes tant régionaux que nationaux.

La première question examinée en 1990 a été celle de l'inspection en cours d'exploitation des générateurs de vapeur de la centrale nucléaire de Kozloduy. Un organe spécialisé de l'Institut za Elektroprivreda de Zagreb a fait la première inspection relative aux courants de Foucault. Les résultats ont révélé la nécessité de procéder à ce genre d'inspection dans d'autres centrales. En conséquence, un programme d'assistance technique a été lancé pour aider les Etats Membres de l'AIEA qui exploitent des réacteurs VVER à mettre en place les infrastructures et les systèmes nécessaires à ces inspections. L'assistance de l'Agence a consisté en formation en cours d'emploi, en ateliers et en services d'experts. On s'est surtout préoccupé de définir les conditions nécessaires à l'inspection, les critères d'équipement fondamentaux et les besoins généraux en personnel; de l'évaluation des compétences locales; de la définition du mode de mise en œuvre; de l'acquisition du minimum de compétences nécessaire pour les inspections en cours d'exploitation; de l'élaboration des programmes d'assurance de la qualité et des programmes d'inspection. En outre, grâce à une contribution extrabudgétaire de l'Espagne, les spécifications techniques et les caractéristiques de base du matériel d'inspection ont été communiquées aux pays participant aux projets.

Ces inspections visent certains composants en particulier, dont la cuve du réacteur, les générateurs de vapeur, les tuyauteries du circuit primaire, les pompes, les vannes et les pressuriseurs. C'est pourquoi les groupes de travail et la formation en cours d'emploi se sont surtout occupés de la manière d'aborder l'examen de ces composants. Les techniques d'inspection pour la mesure des courants de Foucault et autre mode d'analyse non destructive (ultra-sons) ainsi que l'obstruction des tubes des générateurs de vapeur ont fait l'objet d'exposés détaillés. En outre, un enseignement de première main a été organisé, pour lequel les participants ont été amenés dans une centrale au moment des opérations de maintenance. Des projets nationaux en

Bulgarie et en Hongrie ont contribué à améliorer encore l'aptitude du personnel local à inspecter les principaux composants de leurs centrales.

Pour compléter ce projet, l'AIEA a mis en œuvre un projet régional visant essentiellement la maintenance et les services d'entretien d'une centrale, projet financé par des fonds du budget ordinaire de l'AIEA et par des contributions extrabudgétaires des Etats-Unis. Il a permis le transfert de connaissances sur les méthodes et la technologie modernes de maintenance, par diverses voies, notamment l'échange de données techniques, la réunion de groupes d'études et un programme de gestion fondé sur les risques (EPS). Ce programme a été conçu comme base des opérations courantes d'exploitation et de maintenance dans ces centrales, et en vue d'évaluer et d'échelonner, à court et à long terme, les améliorations nécessaires de la sûreté.

Gestion des déchets radioactifs

En ce qui concerne la gestion des déchets radioactifs, les pays qui possèdent des centrales nucléaires du type VVER se sont heurtés à des difficultés dues aux insuffisances des stratégies et réglementations nationales et des moyens techniques disponibles. Un projet régional de l'AIEA mis en œuvre en 1991 vise à améliorer la sûreté et l'efficacité des méthodes de gestion des déchets radioactifs dans les centrales VVER. Comme l'expérience acquise et le degré de développement diffèrent d'un pays à l'autre, la coopération régionale apparaît comme un moyen très efficace de dégager les problèmes communs, d'échanger les connaissances acquises et de recommander des améliorations de la gestion des déchets que l'on puisse prendre en considération et réaliser.

Voici une liste des questions réclamant des mesures correctives et des améliorations:

- législation en matière de gestion des déchets radioactifs;
- surproduction de déchets par les centrales nucléaires;
- fuites excessives des composants;
- accumulation des concentrés non traités extraits des évaporateurs;
- moyens insuffisants de réduction en volume et de conditionnement;
- absence de directives sur les limites d'exemption pour les déchets de très faible activité.

La première partie du projet fixait les activités pour 1991-1992. Les résultats ont été communiqués dans un document technique de l'AIEA intitulé *Radioactive Waste Management of WWER-type Reactors*, publié en 1993. Ce rapport décrit les problèmes de gestion des déchets qui se posent dans les centrales VVER, propose les plans d'une coopération régionale entre les pays qui exploitent ce type de centrale et encourage à s'inspirer des bonnes pratiques suivies dans les centrales nucléaires occidentales.

Les éléments fondamentaux de systèmes intégrés permettant une gestion sûre et efficace des déchets radioactifs ont été le sujet d'un cours régional de formation organisé en Slovaquie en 1992, auquel ont assisté 23 participants d'Etats Membres de la région.

La phase suivante du projet, prévue pour 1993-1994, a deux objectifs essentiels:

- aider les Etats participants à analyser et à améliorer leur législation en vigueur, la structure des organismes réglementaires, les principes de l'homologation et les règles nécessaires de gestion des déchets radioactifs dans les centrales nucléaires;
- faire une évaluation comparée des systèmes de gestion des déchets des centrales nucléaires équipées de réacteurs VVER, et formuler des recommandations pour améliorer ces systèmes. Les services d'experts, notamment des Etats-Unis, de Finlande, de France, du Royaume-Uni et de Suède, ont été fournis dès le démarrage de ce projet régional.

Les pays d'Europe centrale et orientale qui exploitent des réacteurs VVER ont également demandé à l'AIEA des conseils pour le stockage du combustible épuisé, opération qui suscite de vives préoccupations. Auparavant, le combustible épuisé provenant de ces réacteurs était renvoyé pour retraitement en ex-Union soviétique. Or, cette solution ne peut plus répondre à tous les besoins en cette matière étant donné l'évolution politique et économique de la région.

Projets nationaux et autres activités

Plusieurs projets techniques ont été inclus dans le programme de l'AIEA sur les réacteurs VVER et ont contribué à apporter des améliorations au secteur nucléo-énergétique. Les services fournis par l'AIEA par l'intermédiaire de ses équipes d'examen de la sûreté d'exploitation (OSART) et d'évaluation des événements significatifs pour la sûreté (ASSET) ont joué un rôle essentiel. Tous les pays possédant des réacteurs VVER ont accueilli les missions de ces équipes qui leur ont permis d'enrichir leurs connaissances sur leurs centrales.

En 1991, une mission OSART à Kozloduy, en Bulgarie, et quelques missions complémentaires ont donné à l'organisme réglementaire des conseils sur la sûreté d'exploitation de deux réacteurs, entre autres choses. Des spécialistes bulgares ont par ailleurs participé en qualité d'observateurs à des missions OSART auprès de centrales nucléaires à Koeberg (Afrique du Sud), à Grafenrheinfeld (Allemagne) et à Fessenheim (France). Des missions se sont également rendues à Paks, en Hongrie, et à Temelin, en République tchèque. Parallèlement, un séminaire sur la méthodologie ASSET a été organisé à l'intention de ces pays. En Bulgarie, une série de missions ASSET s'est occupée de la gestion des incidents significatifs pour la sûreté auprès des quatre réacteurs VVER 440/230 de la centrale de Kozloduy; elles ont aussi examiné la sûreté d'exploitation,

la formation des opérateurs et des responsables de la réglementation; elles ont aidé la direction des centrales à appliquer leurs recommandations et ont évalué les progrès de la prévention des incidents. En outre, des groupes de travail ont été organisés pour montrer comment utiliser l'Echelle internationale des événements nucléaires (INES), qui normalise la notification des incidents qui se produisent dans les centrales.

Ces missions de sûreté devraient être considérées non seulement comme une source d'information sur les réacteurs VVER, mais aussi comme un important vecteur de connaissances sur la culture de sûreté et de pratiques modernes à appliquer dans les centrales nucléaires, et ceci à l'intention des pays de la région.

D'autres activités ont été organisées pour compléter les projets régionaux. Elles visent divers problèmes nationaux particuliers, notamment:

- assurance de la qualité et inspection en cours d'exploitation pour les centrales nucléaires (Bulgarie, Hongrie, Pologne, République slovaque, République tchèque);
- sûreté du site et protection antisismique (Bulgarie, Républiques slovaque et tchèque);
- sûreté nucléaire et radioprotection (Bulgarie, Hongrie, Ukraine);
- gestion des déchets radioactifs et technologie du stockage du combustible épuisé (Bulgarie, Hongrie, Pologne);
- gestion et analyse des accidents graves (Hongrie, Républiques slovaque et tchèque);
- mesures des bruits, thermométrie et absorbeur combustible dans les réacteurs VVER (Bulgarie, Républiques slovaque et tchèque);
- formation dans le pays de spécialistes nucléaires (Hongrie);
- renforcement des organismes réglementaires nationaux (Républiques slovaque et tchèque).

Ces activités consistent essentiellement à transférer des connaissances, mais du matériel est également fourni dans certains cas. Par exemple, un équipement moderne pour inspection en cours d'exploitation, conçu et réalisé par Technatom en Espagne, a été fourni pour l'inspection de cuves de réacteurs en Bulgarie et en Hongrie, offrant ainsi de nouvelles possibilités de formation de spécialistes sur le plan régional. Des données technologiques ont également été fournies pour la gestion des déchets radioactifs à la centrale de Kozloduy en Bulgarie, ce qui a beaucoup facilité le calcul des limites de rejet scientifiquement fondées qui sont désormais appliquées.

Ces projets nationaux s'accompagnent d'un programme très complet de développement des ressources humaines grâce à une formation dans des domaines précis de la sûreté et de l'ingénierie nucléaires. Plus de 100 scientifiques de pays de la région auront ainsi pu suivre des stages au cours des dix dernières années dans des domaines intéressants des réacteurs VVER. On a récemment envisagé d'appuyer un centre régional de formation à la main-

tenance, qui viendrait s'ajouter à celui qui fonctionne actuellement pour les opérateurs de centrales nucléaires.

Travaux complémentaires

Le programme d'assistance technique de l'AIEA sur les réacteurs VVER fait partie d'un large éventail d'activités menées par l'AIEA et d'autres organisations dans le secteur nucléo-énergétique des pays de la région. Ce programme joue un rôle complémentaire important, malgré ses ressources financières relativement limitées.

Ses objectifs sont notamment les suivants:

- contribuer à l'amélioration de la sûreté des centrales nucléaires des pays d'Europe centrale et orientale;
- renforcer ou créer les compétences nationales nécessaires à l'examen de la sûreté et à l'évaluation indépendante de la sûreté des centrales nucléaires de chaque pays;
- favoriser la coopération internationale entre les pays confrontés à des circonstances et des problèmes analogues dans le secteur nucléo-énergétique;
- regrouper les services d'experts en ce qui concerne le développement des ressources humaines;
- transférer à la région les connaissances des pays qui ont une expérience et un matériel de pointe dans le domaine de la sûreté nucléaire (matériel informatique et logiciel);
- améliorer la communication et la base de données mondiales sur les réacteurs VVER et leur sûreté;
- fournir des services d'experts internationaux et des conseils sur diverses questions de sûreté;
- créer un mécanisme assurant la coopération internationale et le transfert de connaissances et de technologie aux opérateurs des réacteurs VVER.

La prochaine génération de centrales nucléaires et au-delà: un projet ambitieux

Vers un but commun qui appelle l'étude de réacteurs de pointe

Presque tous les pays qui se sont engagés dans des programmes nucléo-électriques civils étudient des types de centrales plus perfectionnés qui prendront la relève, avant la fin du siècle, des installations actuellement en service. Ces centrales sont dites évolutives en ce sens qu'on leur a apporté des améliorations successives fondées sur l'expérience acquise avec les centrales en exploitation dont l'ensemble représente plus de 6000 années de réacteur. Les perfectionnements envisagés se placent à différents niveaux, depuis la conception, la construction et l'exploitation jusqu'à la sûreté et à la rentabilité.

En particulier, améliorer la sûreté au-delà même du niveau remarquable déjà atteint dans presque toutes les centrales en service est aujourd'hui un but commun. Une comparaison objective avec d'autres moyens possibles de production économique d'électricité à grande échelle — comme celle qu'a faite le Colloque d'experts de haut niveau, à Helsinki, en 1991 — montre que l'option nucléaire est de loin la plus avantageuse lorsque l'on veut minimiser l'impact de la production d'énergie sur l'être humain et l'environnement. Cette réalité n'est pas nouvelle, mais il faut la rappeler et en faire la publicité pour convaincre une opinion publique incertaine, très souvent perturbée par les médias qui cultivent le sensationnel, pour rassurer les politiciens et aussi, ce qui ne laisse pas de surprendre, certains sceptiques de la communauté nucléaire.

Dans le contexte de cet article, la sûreté doit être comprise comme l'aboutissement de deux tâches essentielles accomplies par des moyens techniques: premièrement, étudier, construire, exploiter et entretenir le réacteur de telle manière que ni les défaillances de matériel, ni les erreurs des opérateurs, ni les événements extérieurs tels que les séismes ne puissent provoquer une surchauffe du combustible nucléaire et, par voie de conséquence, le dégagement

de quantités dangereuses de radioactivité dans le circuit de refroidissement du réacteur; deuxièmement, prévoir et surveiller une enveloppe de confinement résistante et étanche autour du circuit de refroidissement du réacteur afin de retenir l'essentiel de la radioactivité qui pourrait se dégager lors du déroulement d'un accident qui n'est pas circonscrit au réacteur proprement dit, comme il devrait l'être si le but de la première tâche est atteint.

Il est significatif que pratiquement tous les réacteurs actuellement en exploitation se conforment à peu de chose près au principe de sûreté mondialement agréé. Pour y parvenir, il a fallu moderniser nombre d'installations anciennes en les dotant d'un équipement complémentaire, en améliorant l'ergonomie des consoles de commandes, ainsi que les modes d'exploitation, conjointement avec une formation plus poussée des opérateurs.

Une forte impulsion dans ce sens est venue d'un examen extrêmement approfondi du grave accident de Three Mile Island survenu en 1979. D'autres leçons ont été tirées de l'expérience mondiale d'exploitation, sans cesse accrue. Celle-ci est ouvertement échangée au niveau international entre opérateurs, concepteurs, bureaux d'études et de réalisation et organismes réglementaires. Ces leçons sont un apport important à la conception des prochaines générations de centrales nucléaires évolutives. On peut en escompter de nouvelles améliorations de la sûreté. Cela est dû à ce que la modernisation en question peut intervenir dès le stade de la conception, avec de bien meilleurs résultats que si les ajustements sont faits sur des centrales en service.

Pour évaluer ou «mesurer» les améliorations de la sûreté, les concepteurs ont recours à des méthodes extrêmement perfectionnées également utilisées dans d'autres industries, telle l'aérospatiale. L'évaluation probabiliste de la sûreté (EPS) est l'une d'entre elles et consiste fondamentalement à décrire ou à modéliser l'ensemble d'une centrale sous l'angle de l'interaction des composants, des systèmes, des fonctions et des actes des opérateurs.

par
C.A. Goetzmann,
L. Kabanov
et **J. Kupitz**

M. Goetzmann est un expert à titre gratuit du Département de l'énergie et de la sûreté nucléaires, AIEA. M. Kabanov et M. Kupitz sont membres de ce département.

Elle détermine la probabilité qu'un événement initiateur, défaillance ou erreur, puisse franchir l'une des lignes de défense et s'amplifier jusqu'à endommager gravement le combustible. Le calcul est fait pour de nombreux événements et aboutit à un chiffre cumulatif unique qui exprime la probabilité d'un grave endommagement du cœur, par réacteur et par an. Cette valeur caractéristique a beaucoup diminué puisqu'elle se situait généralement à environ un pour mille avant l'accident de Three Mile Island pour descendre actuellement bien en dessous de un pour dix mille. Pour la prochaine génération de centrales, on vise une nouvelle réduction d'un facteur dix, au moins. La plupart des concepteurs voudraient atteindre le chiffre de un par million.

Outre que ces chiffres permettent de savoir dans quelle mesure différentes conceptions se conforment au principe de la défense en profondeur, l'analyse probabiliste aide et oblige le concepteur à noter les points faibles de son étude. Elle précise l'endroit où une amélioration s'impose et permet de choisir le meilleur moyen technique d'y remédier. Les niveaux de sûreté atteints sont très élevés et l'on peut s'attendre à de nouvelles améliorations. Il y a donc de bonnes raisons de continuer pendant longtemps avec les centrales évolutives actuellement en construction ou à divers stades de planification.

Et pourtant, en dépit du dossier extrêmement satisfaisant de l'énergie d'origine nucléaire, les experts ne cessent de discuter de la façon dont on pourrait encore l'améliorer. Ce n'est pas tant parce que les niveaux de sûreté atteints sont insuffisants, mais plutôt parce que l'on recherche l'excellence. En particulier, si on améliore encore, certains espèrent que cela contribuera grandement à regagner la sympathie de l'opinion publique.

Deux orientations générales se dessinent. La première souligne l'avantage, ou même la nécessité de continuer sur la voie de l'évolution, essentiellement parce que l'expérience sans cesse croissante acquise dans les centrales en exploitation offre un fondement solide pour l'avenir. L'amélioration continue de la sûreté, si elle est nécessaire, ne saurait se faire mieux que dans ce contexte. L'autre orientation, en revanche, préconise une approche novatrice fondée sur une conception nouvelle du réacteur, en particulier si l'option nucléaire doit bénéficier d'un regain de faveur. Examinons brièvement ces deux tendances.

L'approche évolutive

Pour élever encore le degré de sûreté de la prochaine génération de réacteurs de pointe refroidis à l'eau, on cherche à améliorer les protections contre les conséquences d'un accident grave tel que la fonte des éléments combustibles. L'étude de l'accident grave est un des grands thèmes de recherche et développement dans le monde entier. Elle cherche à déterminer plus précisément toutes les atteintes

possibles au comportement souhaité du confinement et à remédier, au stade de la conception, aux insuffisances constatées. Le but ultime de ce travail est de démontrer que, sur le plan technique, aucune mesure d'urgence, telle que l'évacuation, ne devrait être nécessaire pour protéger la population, même après un accident nucléaire grave. Les conséquences d'un accident ne doivent affecter que le site lui-même afin de ne pas perturber la vie de la population des alentours.

Une des tâches principales de l'AIEA consiste à traduire cette démarche en recommandations internationalement acceptées. Les principes énoncés par le Groupe consultatif international pour la sûreté nucléaire (INSAG), organe consultatif auprès du Directeur général de l'AIEA, conviendraient fort bien à cette fin. Essentiellement, l'objectif technique de sûreté précisé dans le rapport dénommé INSAG-3* devrait être élargi pour inclure également les accidents dont la gravité dépasse celle des accidents dits de référence. Il conviendrait aussi d'apporter certaines modifications aux principes relatifs au confinement, ce qui implique un assez gros travail pour définir les incidences et conséquences techniques.

L'approche novatrice

Maints partisans d'une approche novatrice de la conception des futurs réacteurs adoptent un autre point de vue. Ils font valoir que, s'il est vrai que la sûreté des réacteurs évolutifs actuels et futurs est acceptable, sa réalisation et la maintenance dans le temps exigent des moyens techniques fonctionnellement trop complexes et alourdissent malencontreusement la tâche des opérateurs. Ils préconisent des centrales beaucoup plus simples dont la sûreté dépend en dernier ressort beaucoup moins — et à l'extrême, pas du tout — du bon fonctionnement de systèmes de sûreté élaborés et des réactions des opérateurs, par comparaison avec les centrales évolutives. Ils pensent aussi que ce concept nouveau de réacteur contribuerait beaucoup à faire accepter le nucléaire par le public.

Et d'ajouter que la nécessité d'innover deviendra de plus en plus pressante si l'on veut que l'option nucléaire se développe sensiblement dans l'avenir et gagne de nombreuses régions du monde qui n'ont aujourd'hui pratiquement aucune expérience de cette technologie. A-t-on les moyens, demandent-ils, d'entreprendre et de soutenir l'effort épuisant, sur le plan technologique et humain, qu'exigent la conception, l'homologation, la construction, l'exploitation et l'entretien des descendants évolutifs des réacteurs

*Principes fondamentaux de sûreté pour les centrales nucléaires (INSAG-3), Collection Sécurité de l'AIEA, n° 75, Vienne (1988).

actuels, pour s'assurer que le degré de sûreté souhaité est uniformément maintenu dans le monde entier et pour longtemps? Ou encore, en d'autres termes, peut-on y parvenir plus aisément avec des réacteurs de conception nouvelle? C'est une façon de voir les choses dans l'optique novatrice. On peut aussi affirmer qu'il serait possible d'exclure à priori, par la conception même du réacteur, l'éventualité, même très peu probable, d'un grave endommagement du cœur, pour commencer, ce qui aurait pour résultat final une bien meilleure acceptation du nucléaire par le public.

La simplification et le renforcement de l'aptitude du réacteur à résister aux défaillances du matériel et aux erreurs des opérateurs sont aussi un objectif explicite de la conception évolutive. Il s'ensuit que la controverse entre évolution et innovation ne porte pas tant sur le but à atteindre, mais plutôt sur les moyens de l'atteindre et, de ce fait, revêt un caractère hautement technique.

Nombre de concepts nouveaux sont à l'examen depuis de nombreuses années. Les uns retiennent la technologie du réacteur à eau légère, d'autres s'inspirent de l'étude des réacteurs refroidis par un gaz ou un métal liquide. Quant à leur maturité, les projets s'échelonnent depuis le stade préconceptuel jusqu'à des plans déjà très détaillés soutenus par un gros travail spécifique de recherche et développement. On estime cependant, dans l'ensemble, que chaque concept devrait se matérialiser dans un prototype de taille industrielle avant de pouvoir être considéré comme une option de développement du nucléaire. Il se peut même que certains concepts doivent être soumis à priori à des tests de faisabilité.

Pour autant qu'ils visent l'amélioration de la sûreté, tous les concepts proposés ont en vue deux objectifs principaux. L'un consiste à réduire, voir à éliminer, la nécessité de l'intervention d'un opérateur quant il s'agit de juguler un accident grave, l'autre consiste à supprimer la nécessité d'une circulation forcée du caloporteur servant à extraire la chaleur résiduelle que tous les éléments combustibles pour réacteurs continuent d'émettre après l'arrêt de la réaction en chaîne. Cela signifie, dans ce contexte, l'absence de dispositifs rotatifs comme les pompes, ou d'énergie pour les faire fonctionner. Certains projets tentent de réaliser cette «élimination passive de la chaleur résiduelle», comme on l'appelle souvent, également dans les cas où le système de refroidissement du réacteur comporte une fuite accidentelle.

Bien que différentes entre elles, toutes les conceptions nouvelles prévoient le maximum possible de protection intégrée contre les accidents. Aucun événement initiateur, telle une coupure d'alimentation électrique due à un fort orage, ne devrait s'aggraver au point de compromettre l'intégrité des éléments combustibles. Parmi les trois impératifs énoncés par INSAG — à savoir la commande de la puissance du réacteur, le refroidissement du combustible et le confinement de la

radioactivité — les conceptions nouvelles insistent sur les deux premiers. Elles accordent donc le maximum d'importance au préventif, conformément aux principes de la défense en profondeur et au principe d'INSAG selon lequel «le moyen prioritaire de réaliser la sûreté est la prévention des accidents, en particulier de ceux qui pourraient entraîner un endommagement grave du cœur».

On ne saurait donc reprocher à l'innovation de s'écarter des principes établis, ce qui est un aspect stratégique important. Bien au contraire. Le prix en investissement ne semble pas trop élevé toutefois, et il faut rechercher et obtenir un allègement autre part dans le projet en réduisant certaines exigences techniques.

Les conceptions nouvelles impliquent moins de «culture de sûreté» que ce n'est actuellement le cas avec les réacteurs classiques car, en cas d'urgence, la réaction de l'opérateur ou la fonction de certains systèmes dans certains cas ne sont pas décisifs pour assurer la protection voulue. Il est assez surprenant que l'erreur, l'inaction ou même la malveillance de l'opérateur soit jugée bien moins dangereuse pour la sûreté que les défaillances du matériel. On peut en tirer deux conclusions. La première rendrait hommage à la défense en profondeur. La redondance, la diversité et la séparation physique ainsi que le souci de la sûreté chez l'opérateur («culture de sûreté») ont de toute évidence fait la preuve convaincante de leur efficacité et de leur valeur. La seconde conclusion est la suivante: si la simplification des systèmes et l'amélioration des interfaces homme-machine demandent une automatisation encore plus poussée — objectif explicite pour les centrales évolutives — on pourrait considérer que les problèmes relatifs aux opérateurs sont considérablement atténués. En d'autres termes, une bonne partie de ce qui pousse à l'innovation peut aussi être réalisée par la conception évolutive.

Eclaircissement et harmonisation

Un des objectifs proposés par les partisans des réacteurs de conception nouvelle est de présenter des modèles «de conception déterministe sûre». Cela veut dire qu'il faudrait qu'un degré suffisant de protection du public soit prouvé sans recours prioritaire à des arguments probabilistes. Tant que cela ne sera pas compris comme signifiant que «absolument rien ne peut arriver dans aucune circonstance», affirmation très difficile à défendre, les extrêmes de l'approche évolutive et de l'approche novatrice peuvent vraisemblablement se rejoindre. En effet, les deux tendent en fin de compte à démontrer que les accidents ayant de graves conséquences pour le public peuvent être exclus. Les moyens d'atteindre ce but sont déterministes dans les deux cas. Avec la conception évolutive, l'objectif est atteint par des dispositifs successifs de protection et d'atténuation dans le cadre de la défense en profondeur. Les

projets innovateurs veulent introduire des caractéristiques spécifiques telles que de grandes sources froides temporaires et des moyens passifs, comme on dit parfois, de dissiper la chaleur de désintégration.

Les réacteurs dits de «conception déterministe» peuvent comporter des caractéristiques intrinsèques, passives, actives et autres permettant d'atteindre ce but ultime qu'est la protection du public des conséquences graves d'un accident. La confusion que créent des termes comme passif, intrinsèque ou tolérant, employés à tort quant il s'agit de l'ensemble d'une centrale, mais parfaitement corrects lorsqu'ils s'appliquent à des systèmes ou à des fonctions spécifiques, serait en grande partie dissipée. Cela aiderait beaucoup le public car, ce qu'il veut réellement, c'est savoir si un accident peut oui ou non lui causer des dommages plutôt que devoir se prononcer sur des détails techniques sans avoir les connaissances nécessaires.

Les analyses probabilistes demeureront nécessaires pour savoir quelles sont les séquences d'événements accidentels qui appellent une protection déterministe, en ce qui concerne les centrales tant évolutives que de conception nouvelle. Il faut bien préciser que la conception déterministe de la sûreté signifie seulement en fin de compte que les conséquences graves sont si peu probables qu'il faut les accepter comme n'importe quelle autre grande catastrophe.

Les probabilités à cet égard sont suffisamment faibles pour ce qui est des centrales évolutives de l'avenir; il n'est pas nécessaire que les centrales de conception nouvelle fassent mieux. Cela étant admis, on peut dire que les deux types sont sûrs du point de vue déterministe. Quant au public, le doute est levé et une opinion contraire est indéfendable.

C'est aux spécialistes de la communauté nucléaire qu'il appartient de discuter la question. Le débat consiste moins à savoir quelle conception est la plus sûre, quel qu'en soit le coût, qu'à déterminer quelle conception assure la production le moins chère à un degré de sûreté généralement accepté.

Motivations et limitations pour l'avenir

Motivations. Les raisons de sûreté ne sont pas la justification première des concepts novateurs. Ceux-ci doivent répondre à d'autres besoins dont le plus important est probablement de pouvoir satisfaire à la demande croissante d'énergie dans le monde et de contribuer simultanément à réduire l'effet de serre.

La simplification est un des buts essentiels à atteindre avec la prochaine génération de centrales évolutives dans les pays industriels. Quel poids supplémentaire cet objectif aura-t-il pour les pays moins développés qui devront «opter nucléaire» dans le contexte dont nous venons de parler? Il est presque inconcevable que les pays industriels puissent assumer une augmentation de cinq à dix fois, selon

les estimations, de la puissance installée par rapport à celle d'aujourd'hui. Les exigences a priori d'une bonne culture de sûreté et d'une infrastructure adaptée font sérieusement obstacle à une augmentation substantielle du parc nucléaire mondial. Il est indispensable d'en évaluer les coûts car ils influenceront sur les choix à faire. Si les coûts sont élevés, et c'est à prévoir, cela vaut peut-être la peine de chercher à aménager la situation. En revanche, si l'on peut trouver une formule de «culture de sûreté à profil bas», des problèmes surgiront. Premièrement, comment pourrait-elle exister à la longue avec les approches traditionnelles? Les organes réglementaires pourraient-ils accepter deux catégories de réacteurs? Deuxièmement, y aura-t-il des clients pour admettre que c'est cette formule particulière qu'il leur faut parce qu'il leur est impossible de faire mieux? N'auront-ils pas l'impression d'être discriminés?

Pour obtenir le degré de sûreté souhaité, il faut toujours combiner judicieusement trois qualités essentielles: celle de l'installation elle-même, celle de l'infrastructure existante, par exemple le réseau, et celle des opérateurs qualifiés. Si les deux dernières sont insuffisantes, c'est la machine qui devra compenser. Si l'on dispose d'un réacteur qui en est capable, quelles seraient les conséquences de sa réimportation dans un pays industriel? Cela signifierait-il l'introduction d'une nouvelle norme que l'organisme réglementaire doit rendre obligatoire?

Limitations. Il existe de toute manière de sérieuses limitations qui entravent l'expansion rapide nucléaire, qu'elles tiennent à l'évolution ou à l'innovation. Sans parler des questions de rentabilité, de stockage définitif des déchets, de rénovation de centrales défectueuses, et de non-prolifération, les principales limitations, qui deviennent presque des critères, sont les suivantes: le public doit connaître et comprendre les avantages que présente l'énergie nucléaire et donc admettre qu'elle est souhaitable, et même nécessaire. Le public des pays industriels doit aussi comprendre que l'expansion du nucléaire dans les pays en développement va exiger un effort financier considérable. Enfin, la promotion des concepts novateurs ne doit pas être menée de façon à mettre en question ce qu'il est prévu de faire dans un avenir proche avec les concepts évolutifs. Si cela n'est pas compris, il est possible que l'option nucléaire se perde à jamais. Passer outre ces limitations est une tâche monumentale. Il semblerait souhaitable d'élaborer un plan directeur bien adapté qui définisse précisément les diverses activités à entreprendre, et comment les mener, afin de stimuler une reprise et une expansion vigoureuses du nucléaire à partir de la deuxième décennie du siècle prochain. L'AIEA serait l'institution idéale pour élaborer ce plan.

Les niveaux de radioexposition dans le monde: dernières nouvelles internationales

Le rapport de l'UNSCEAR pour 1993 confirme à nouveau que les activités nucléaires pacifiques ne sont responsables que d'une petite fraction de la radioexposition totale

par
Abel J. González

La radioexposition de la population mondiale a été récemment étudiée par le Comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants (UNSCEAR). Dans son rapport pour 1993 à l'Assemblée générale des Nations Unies, le Comité confirme à nouveau que l'exploitation normale de toutes les installations nucléaires pacifiques contribue dans une mesure insignifiante à la radioexposition dans le monde entier. Toutes les activités nucléaires pacifiques réunies causent une exposition mondiale équivalant tout juste à quelques jours d'exposition aux sources naturelles de rayonnements. Même si l'on tient compte de tous les accidents nucléaires qui sont survenus à ce jour (y compris celui de Tchernobyl), le supplément d'exposition ne représente qu'environ 20 jours d'exposition naturelle (voir le tableau ci-dessous).

Selon le Comité, ce sont les usages militaires de l'énergie nucléaire qui sont responsables de l'essentiel de la radioexposition de la population mondiale due à des activités humaines. L'exposition passée et à venir qui résultera de tous les essais d'armes nucléaires dans l'atmosphère — sans compter d'autres activités connexes, telles la production de matières pour l'armement nucléaire, ou d'autres activités militaires — représente 2,3 années d'exposition au rayonnement naturel. Vient ensuite l'exposition à ce rayonnement lui-même. Loin derrière se situent les expositions à des fins médicales: une année de radiotraitement représente en moyenne l'équivalent de 90 jours supplémentaires d'exposition de la population mondiale au rayonnement naturel. L'exposition professionnelle annuelle moyenne, calculée pour l'ensemble du monde,

équivalait à quelques heures de plus d'exposition à ce rayonnement.

Les expositions individuelles peuvent différer considérablement les unes des autres, mais le Comité s'intéresse principalement à la répartition mondiale de la radioexposition (voir l'encadré). On peut dégager de ce rapport une recommandation sur les priorités à fixer pour assurer la radioprotection de l'être humain dans le monde entier. Les utilisations pacifiques de l'énergie nucléaire apparaissent loin sur la liste des préoccupations. Le public voit la question très différemment, mais c'est souvent le cas quant il s'agit de radioexposition.

Comme il le fait toujours, le Comité présente une synthèse détaillée des connaissances mondiales sur les effets biologiques des rayonnements. Il rappelle une fois encore que l'acide désoxyribonucléique (ADN) est vulnérable. Il examine dans son rapport les effets des modifications du code génétique de la cellule que l'on suppose induites par l'exposition aux rayonnements. Celle-ci peut soit tuer les cellules et produire les effets déterministes cliniques détectables (stérilité, opacification du cristallin, dépression hématopoïétique, érythème) dus aux fortes doses de rayonnements, soit transformer les cellules et induire

Exposition à des sources radioactives d'origine humaine, exprimée en périodes équivalentes d'exposition à des sources naturelles de rayonnement

Source	Base de calcul	Durée équivalente d'exposition à des sources naturelles
Expositions médicales	Un an de pratique au taux actuel	90 jours
Essais d'armes nucléaires	Pratique terminée	2,3 années
Centrales nucléaires (exploitation normale)	Total à ce jour	10 jours
	Une année au taux actuel	1 jour
Accidents graves	Jusqu'à ce jour	20 jours
Expositions professionnelles	Une année au taux actuel	8 heures
Exposition à des sources naturelles	Moyenne mondiale	(1 année)

M. González est directeur adjoint de la Division de la sûreté nucléaire, à l'AIEA. Le rapport de l'UNSCEAR pour 1993, intitulé *Sources et effets des rayonnements ionisants*, est adressé à l'Assemblée générale (quarante-huitième session, supplément n° 46 (A/48/46)), publication de l'ONU n° E.94.IX.2, Nations Unies, New York (1993).

Doses engagées collectives d'exposition du public dues à la production nucléo-électrique (normalisées par unité d'énergie produite et exprimées en pourcentage)

Source	Pourcentage normalisé par unité d'énergie produite
<i>Composante locale et régionale</i>	
Extraction, broyage et résidus	0,7
Fabrication du combustible	Néant
Exploitation des réacteurs	0,6
Retraitement	0,1
Transport	0,05
<i>Composante mondiale (y compris stockage des déchets solides)</i>	
Extraction, broyage et résidus (rejets sur 10 000 ans)	74,0
Exploitation des réacteurs	0,25
Dispersion planétaire de radionucléides provenant essentiellement du retraitement et du stockage des déchets solides	24,3
Total (arrondi)	100,0

Dose collective engagée d'exposition de la population mondiale sur 50 ans de pratique continue ou par événement distinct entre 1945 et 1992 (en pourcentage)

Source	Base de calcul	%
Sources naturelles	Taux courant pendant 50 ans	76,58
Exposition médicale: Diagnostic	Taux courant pendant 50 ans	10,68
Traitement		8,83
Essais d'armes nucléaires dans l'atmosphère	Pratique terminée	3,53
Energie d'origine nucléaire	Total à ce jour	0,04
	Taux courant pendant 50 ans	0,20
	Total:	0,24
Accidents graves	Événements à ce jour	0,07
Exposition professionnelle: Applications médicales	Taux courant pendant 50 ans	0,005
Energie d'origine nucléaire		0,01
Applications industrielles		0,003
Activités pour la défense		0,001
Opérations minières (uranium excepté)		0,05
Total partie (expositions professionnelles)		0,07
Total		100,0

Expositions annuelles à des sources naturelles

Source	Dose effective annuelle (mSv)	
	Normale	Forte*
Rayons cosmiques	0,39	2,0
Rayons gamma terrestres	0,46	4,3
Radionucléides absorbés (radon excepté)	0,23	0,6
Radon et produits de filiation	1,30	10
Total (arrondi)	2,40	—

* Pour les grandes régions; des valeurs encore supérieures peuvent se rencontrer dans des périmètres plus restreints.

L'énergie nucléaire et la radioexposition

Il est dit dans le rapport de l'UNSCEAR que l'exploitation des centrales nucléaires dans des conditions normales ne représente qu'une fraction de la contribution déjà minime de l'énergie nucléaire à la dose engagée (c'est-à-dire prévue) d'exposition de la population mondiale.

Les composantes locales et régionales de cette exposition ne contribuent que de l'ordre de 1,5% à l'exposition totale. L'exploitation des réacteurs ne compte que pour la moitié, l'extraction et le broyage de l'uranium et leurs résidus contribuant à l'autre moitié. Le plus gros apport est ce que l'on appelle la composante mondiale, dominée par l'effet présumé des rejets de matières radioactives de longue période. Les rejets de radioactivité par les résidus de l'extraction et du broyage des minerais — projetés sur une période de 10 000 ans — sont responsables de 75% de cette exposition. Les rejets prévus de radionucléides provenant des opérations de retraitement et d'élimination des déchets solides représentent les 25% restants. La composante mondiale due aux réacteurs en exploitation est négligeable en comparaison.

A noter que les chiffres des tableaux ci-joints sont fondés sur les expositions collectives totales. Ils sont donnés par des modèles théoriques qui prévoient la somme des expositions individuelles dues à une activité. Les expositions individuelles, de leur côté, peuvent varier considérablement. Les retombées radioactives consécutives aux essais d'armes nucléaires, par exemple, ont exposé la population mondiale à une dose engagée relativement homogène. Par ailleurs, la moyenne mondiale des expositions professionnelles a une faible incidence sur l'individu car la somme représente les radioexpositions d'un nombre relativement restreint de travailleurs. Les expositions individuelles imputables à l'exploitation normale des centrales nucléaires peuvent être considérées elles aussi comme plutôt homogènes du fait de la prédominance de la composante mondiale; cela dit, les accidents nucléaires sont responsables d'une exposition non négligeable mais limitée à une petite fraction de la population mondiale, de sorte que la moyenne mondiale est délicate à établir. Quant aux expositions à des fins médicales, celles qui proviennent du radiodiagnostic sont relativement homogènes dans le monde entier (la plupart des gens ont été radiographiés à un moment quelconque de leur existence). Toutefois, la radioexposition à des fins thérapeutiques se limite aux patients soumis à un radiotraitement, lesquels ne représentent qu'une fraction relativement faible de la population.

En ce qui concerne les expositions aux rayonnements naturels, les différences entre les individus peuvent être considérables — elles peuvent être de plusieurs ordres de grandeur entre une personne vivant dans une maison sans isolation et mal ventilée dans une zone à radon où le fond de rayonnement naturel est élevé et une personne habitant les tropiques où la radioactivité de fond est faible.

Note: Dans le tableau ci-contre, les expositions sont exprimées en millisieverts (mSv), millième partie du sievert, unité internationale d'exposition. Un millisievert est actuellement la dose limite recommandée pour les membres du public en ce qui concerne les expositions dues à des pratiques réglementées.

une amplification des effets stochastiques (induction du cancer ou effets héréditaires) épidémiologiquement attribuables aux rayonnements. Les annexes biologiques du rapport traitent principalement des mécanismes de l'oncogénèse radio-induite, de l'influence de la dose et du débit de dose sur les effets stochastiques, des effets héréditaires, des effets sur le développement du cerveau humain et des effets déterministes tardifs chez l'enfant. En bref, l'UNSCEAR rappelle que:

- Les effets déterministes cliniquement imputables aux rayonnements ne se produisent que si un seuil élevé de dose est dépassé (ces effets peuvent être aisément évités, car le seuil de dose est bien supérieur aux limites réglementaires de radioexposition).

- Le risque dû aux effets stochastiques est extrêmement faible. Aussi le Comité déclare-t-il que les rayonnements sont peu carcinogènes, estimant que 4% environ des décès dus au cancer peuvent être imputables à un rayonnement ionisant, qui, le plus souvent, provient de sources naturelles que l'on n'est pas en mesure de contrôler*. L'impact des rayonnements provenant des activités nucléaires pacifiques est, comme on l'a vu, encore sensiblement moindre.

* Le Comité rappelle le cas des populations fortement exposées qui ont survécu aux bombardements atomiques de Hiroshima et de Nagasaki en 1945, et précise que, sur 3350 décès dus au cancer, environ 350 cas seulement pouvaient être imputés à la radioexposition résultant des bombes atomiques.

Centrale nucléaire de Forsmark, en Suède.
(Photo: G. Hansson)



Le Directeur général prend la parole devant l'Assemblée générale des Nations Unies

Prenant la parole devant l'Assemblée générale des Nations Unies le 1er novembre 1993, M. Hans Blix, directeur général de l'AIEA, a déclaré que l'Agence continue à renforcer ses activités de vérification pour relever de nouveaux défis dans les domaines de la sécurité globale et de la non-prolifération nucléaire.

«Il importe au plus haut point que la renonciation des Etats aux armes nucléaires soit crédible», a-t-il dit. «Dans un monde voué au désarmement et à la non-prolifération nucléaire, on a besoin d'avoir l'assurance que les Etats non dotés d'armes nucléaires ne violent pas leurs engagements de non-prolifération et que les Etats qui se sont engagés juridiquement à démanteler leurs armes nucléaires n'en produisent pas de nouvelles secrètement.» Il a souligné que la «clé de la confiance réside dans une transparence nucléaire totale», et que les garanties et le système de vérification de l'AIEA sont actuellement renforcés aux fins notamment de la détection des matières et installations nucléaires non déclarées dans des Etats ayant conclu des accords de garanties généralisées avec l'Agence.

M. Blix a évoqué expressément les activités de vérification en République populaire démocratique de Corée (RPDC), en Iraq et en Afrique du Sud. Il a également relevé un certain nombre de domaines dans lesquels les activités de garanties et de vérification s'étendent ou pourraient s'étendre compte tenu de l'évolution de la situation régionale et mondiale. En outre, il a passé en revue les activités de l'AIEA dans les domaines de l'électro-nucléaire et de la sûreté nucléaire, de la gestion des déchets radioactifs et du transfert des techniques nucléaires pour des applications industrielles, sanitaires et environnementales.

En ce qui concerne la RPDC, qui a conclu un accord de garanties généralisées avec l'AIEA, M. Blix a déclaré qu'un détournement éventuel de matières nucléaires «ne peut pas être exclu». Il a

observé que la RPDC cherche à restreindre les activités de vérification de l'Agence et que l'ampleur de la violation de l'accord de garanties s'accroît. «De ce fait,» a-t-il dit, «un certain nombre de mesures de vérification des activités nucléaires déclarées de la RPDC ont pris du retard, et la continuité de certaines données importantes pour les garanties a souffert. Plus l'Agence sera empêchée d'effectuer des inspections, plus les données importantes pour les garanties se dégraderont et moins les garanties pourront fournir l'assurance que même les installations déclarées sont utilisées exclusivement à des fins pacifiques.» Il a réaffirmé que l'AIEA est prête à inspecter toutes les matières et installations nucléaires et à tenir des consultations avec la RPDC sur toutes les questions en suspens, et notamment sur celles de l'inspection des sites non déclarés et des informations complémentaires. Il a toutefois insisté sur le fait que les activités d'inspection forment un tout, et qu'elles ne constituent pas une série d'activités parmi lesquelles un Etat inspecté peut faire un choix.

Dans le cas de l'Iraq, où l'Agence effectue des inspections nucléaires en vertu du mandat que lui a confié le Conseil de sécurité, M. Blix a dit que l'Agence a mis en route certains éléments de son plan de contrôle et de vérification continu et qu'elle est en train de vérifier des informations communiquées récemment par l'Iraq sur ses fournisseurs. «Il y a encore quelques lacunes dans nos connaissances concernant les circuits d'approvisionnement nucléaire de l'Iraq et l'origine des informations scientifiques et techniques», a-t-il dit. «Nous espérons que grâce à la documentation fournie tout récemment par l'Iraq les dernières questions qui subsistent en la matière seront bientôt éclaircies d'une manière qui contribuera à un contrôle intégral et efficace à long terme. Cela est indispensable pour donner l'assurance que l'Iraq ne cherche pas à acquérir à nouveau une capacité nucléaire interdite.» D'après les résultats de

L'Assemblée générale des Nations Unies se félicite des efforts de l'AIEA

Dans une résolution adoptée le 1er novembre 1993, l'Assemblée générale des Nations Unies a approuvé les actions entreprises par l'AIEA et lancé un appel en faveur d'une coopération internationale dans l'exécution des travaux de l'Agence.

Dans cette résolution, l'Assemblée générale a félicité tout particulièrement l'AIEA de ses efforts visant à faire appliquer l'accord de garanties conclu avec la République populaire démocratique de Corée (RPDC) et elle a instamment prié ce pays de coopérer immédiatement à ces efforts.

Elle a également rendu hommage à l'Agence pour la diligence dont celle-ci a fait preuve dans l'application des résolutions du Conseil de

sécurité sur le désarmement de l'Iraq et soutenu ses efforts visant à mettre en place les mesures nécessaires en vue d'un contrôle et d'une vérification continus.

Elle a proclamé sa confiance dans l'action que mène l'Agence pour l'application de l'énergie nucléaire à des fins pacifiques et prié instamment tous les Etats de s'efforcer de parvenir à une coopération internationale harmonieuse en encourageant l'utilisation de l'énergie nucléaire et l'application des mesures de sûreté nécessaires, en renforçant l'assistance et la coopération techniques en faveur des pays en développement et en assurant l'efficacité du système de garanties de l'Agence.

21 missions d'inspection et des activités connexes, l'AIEA a pu conclure que l'ancien programme clandestin d'armes nucléaires de l'Iraq a été retracé dans tous ses aspects essentiels et détruit ou neutralisé, a-t-il dit.

S'agissant de l'Afrique du Sud, M. Blix a commenté les résultats de 22 missions effectuées au titre des garanties dans le pays au cours des deux années écoulées dans le cadre d'un accord de garanties généralisées conclu en septembre 1991 et des activités de vérification complémentaires entreprises à la suite de l'annonce par le Gouvernement sud-africain au début de l'année qu'il avait mis fin à son ancien programme d'armes nucléaires et qu'il l'avait détruit. Il a déclaré que l'AIEA n'a trouvé «aucun indice» qui puisse jeter un doute sur la véracité de la déclaration initiale de l'Afrique du Sud concernant ses matières et ses installations nucléaires ou sur son affirmation ultérieure selon laquelle tout l'uranium fortement enrichi provenant de son programme d'armes nucléaires abandonné avait été inclus dans la déclaration initiale.

A propos de l'extension des activités de garanties et des nouveaux rôles que l'AIEA pourrait être appelée à jouer, M. Blix a cité différents domaines. Parmi ceux-ci figurent les activités de garanties de l'AIEA en Argentine et au Brésil où, a-t-il dit, «un bon exemple» d'ouverture et de confiance mutuelles dans les activités nucléaires a été donné. Des garanties généralisées de l'AIEA seront appliquées dans ces deux pays, a-t-il dit, en vertu d'un accord de garanties quadripartite signé en décembre 1991 et qui a maintenant été approuvé par le Parlement argentin et par la chambre basse du Congrès brésilien. M. Blix a en outre relevé les évolutions positives enregistrées en Afrique en ce qui concerne la création d'une zone exempte d'armes nucléaires ainsi qu'au Moyen-Orient où toutes les parties au processus de paix sont favorables à l'idée d'une zone exempte d'armes nucléaires et d'autres armes de destruction massive. M. Blix a indiqué qu'il a eu des consultations avec des Etats du Moyen-Orient en vue de faciliter l'application rapide de garanties intégrales de l'Agence à toutes les activités nucléaires dans cette région et que les Etats Membres de l'Agence l'ont récemment prié de fournir toute l'assistance que pourraient demander les parties à l'appui du processus de paix multilatéral. Il a dit que dans les Etats de l'ancienne Union Soviétique l'AIEA a également entrepris

d'importants préparatifs pour l'introduction de garanties généralisées en prévision de leur adhésion au Traité sur la non-prolifération des armes nucléaires (TNP).

Le Directeur général a par ailleurs évoqué les développements intervenus dans les domaines du désarmement nucléaire et de la limitation des armements nucléaires qui pourraient amener à assigner de nouveaux rôles à l'AIEA. Il s'agit notamment de l'intérêt que l'on commence à manifester pour des arrangements internationaux destinés à garantir la sûreté et la sécurité du plutonium et de l'uranium fortement enrichi et à propos desquels l'AIEA a déjà entrepris quelques travaux préliminaires; d'un arrêt vérifié de la production de matières fissiles à des fins militaires; et d'une interdiction de tous les essais d'explosifs nucléaires quels qu'ils soient.



C'ETAIT IL Y A 40 ANS: «L'ATOME AU SERVICE DE LA PAIX». Il y a 40 ans, le 8 décembre 1953, Dwight D. Eisenhower, président des Etats-Unis d'Amérique, dans un discours prononcé devant l'Assemblée générale des Nations Unies, proposait la création d'une agence internationale de l'énergie atomique pour contribuer à mettre «l'atome au service de la paix». (Photo: ONU)

**Session de 1993
de la
Conférence
générale
de l'AIEA:
faits marquants**

A la trente-septième session ordinaire de la Conférence générale de l'AIEA, des représentants gouvernementaux de haut niveau de 96 pays dont 12 ministres ont adopté des résolutions dans des domaines fondamentaux du développement nucléaire. La Conférence générale a reconduit par acclamation M. Hans Blix dans ses fonctions de directeur général de l'Agence pour un quatrième mandat consécutif de quatre ans.

Cette session d'une semaine s'est terminée le 1er octobre 1993 à Vienne. M. Saleh Abdulrahman Al-Athel (Arabie Saoudite) a été élu président de la Conférence générale. Des résolutions ont notamment été adoptées sur les sujets suivants:

Garanties en République populaire démocratique de Corée (RPDC). La Conférence générale a adopté une résolution sur la mise en œuvre de l'accord entre l'Agence et la RPDC relatif à l'application de garanties dans le cadre du Traité sur la non-prolifération des armes nucléaires (TNP) dans laquelle elle demande instamment à la RPDC de «coopérer immédiatement» pour permettre à l'AIEA d'appliquer intégralement l'accord de garanties généralisées devant servir à vérifier les activités nucléaires déclarées de cet Etat, approuve vigoureusement les mesures prises jusqu'ici par l'AIEA pour mettre en œuvre cet accord de garanties, que la RPDC a conclu avec l'Agence dans le cadre du TNP et qui est en vigueur depuis avril 1992, et se déclare «gravement préoccupée de ce que la RPDC ne se soit pas acquittée de ses obliga-

tions en matière de garanties et ait accru récemment l'ampleur de son manquement en n'acceptant pas les inspections *ad hoc* et régulières programmées de l'Agence qu'exige son accord de garanties avec l'Agence. Cette résolution a été adoptée par 72 voix contre deux avec 11 abstentions.

Renforcement du système des garanties de l'AIEA. Dans cette résolution, la Conférence générale exprime sa conviction que les garanties de l'Agence peuvent accroître la confiance entre les Etats et contribuer ainsi à renforcer leur sécurité collective. Elle prie le Directeur général «de poursuivre et d'intensifier ses efforts visant à améliorer l'efficacité et la rentabilité du système des garanties, et en particulier de poursuivre le réexamen de l'application des garanties ... afin d'aboutir à un système plus efficace et plus rentable qui couvre toutes les matières dans toutes les activités nucléaires pacifiques sur le territoire d'un Etat ayant conclu un accord de garanties généralisées».

Sûreté nucléaire. Dans cette résolution, la Conférence générale prie instamment le groupe d'experts réuni sous les auspices de l'AIEA de poursuivre ses travaux relatifs à une convention sur la sûreté nucléaire et souligne qu'il est souhaitable d'organiser une conférence diplomatique en 1994 sur la base d'un projet de texte global mis au point par le groupe d'experts.

Gestion des déchets radioactifs. Dans cette résolution, la Conférence générale souligne qu'il est d'une «nécessité vitale» que l'Agence continue



L'ambassadeur Walker. (Photo: J. Perez, AIEA)

Le Conseil des gouverneurs de l'AIEA en 1993-1994

Le Conseil des gouverneurs nouvellement constitué pour 1993-1994 a élu président M. Ronald Alfred Walker, gouverneur représentant l'Australie, qui succède ainsi à M. Ramtane Lamamra (Algérie).

M. Walker est ambassadeur d'Australie et représentant permanent auprès des organismes des Nations Unies à Vienne depuis 1988. Auparavant, il avait occupé des postes diplomatiques importants en Asie et en Europe. Il a été ambassadeur d'Australie au Danemark de 1980 à 1983, ainsi que chef de la délégation australienne au Comité du désarmement en 1980 et 1981. Il a été ensuite secrétaire adjoint du Service du désarmement et de la limitation des armements, puis, de 1984 à 1988, conseiller spécial pour le désarmement et premier secrétaire adjoint de la Division du désarmement, de la défense et des affaires nucléaires.

Le Conseil a élu vice-présidents M. József Vigassy, gouverneur représentant la Hongrie, et M. Agus Tarmidzi, gouverneur représentant l'Indonésie. Les 35 Etats Membres du Conseil pour 1993-1994 sont les suivants: Allemagne, Arabie Saoudite, Argentine, Australie, Brésil, Canada, Chili, Chine, Colombie, Cuba, Egypte, Etats-Unis, Ethiopie, Fédération de Russie, Finlande, France, Hongrie, Inde, Indonésie, Irlande, Italie, Jamahiriya Arabe Libyenne, Japon, Liban, Malaisie, Nigeria, Paraguay, Philippines, Pologne, République Arabe Syrienne, Royaume-Uni, Suède, Suisse, Tunisie, Ukraine.

de promouvoir et de renforcer la coopération internationale dans le domaine de la gestion des déchets radioactifs et elle invite le Conseil des gouverneurs et le Directeur général à examiner quelles autres mesures devraient être prises pour renforcer les activités de coopération internationale dans ce domaine, notamment l'évaluation de l'impact du déversement de déchets à terre et en mer.

Renforcement des principales activités de l'Agence. Dans cette résolution, il est demandé au Directeur général de présenter, en consultation avec les Etats Membres, de nouvelles initiatives pour renforcer les principales activités de l'Agence, en particulier les activités de coopération technique, par l'élaboration de programmes efficaces visant à améliorer le potentiel scientifique et technologique des pays en développement dans les domaines des applications pacifiques de l'énergie nucléaire et à parvenir à un développement durable.

Recours pratique à l'irradiation des aliments dans les pays en développement. Dans cette résolution, la Conférence générale fait sienne la décision du Conseil des gouverneurs d'approuver les propositions de projets concernant le recours pratique à l'irradiation des aliments dans les pays en développement, en demandant que l'on accorde une attention particulière aux aspects techniques, législatifs et financiers ainsi qu'à la question de l'acceptation par le public lors de la mise en œuvre de ces propositions.

Plan pour produire de l'eau potable économiquement. Dans cette résolution, la Conférence générale, notant qu'un certain nombre d'Etats sont intéressés par des activités relatives au dessalement de l'eau de mer au moyen de l'énergie nucléaire, demande aux Etats Membres qui le peuvent de fournir des services d'experts et des ressources extrabudgétaires à l'appui de telles activités. Elle prie également le Directeur général de tenir des consultations avec les Etats intéressés, les organismes compétents des Nations Unies et les autres organismes internationaux intéressés au sujet de la mise en œuvre d'installations de démonstration et d'activités connexes.

Le Président de la Conférence générale, M. Al-Athel, le Directeur général de l'AIEA, M. Blix, à la trente-septième session de la Conférence générale, à laquelle ont assisté des délégués de 96 Etats Membres.
(Photos: P. Pavlicek, AIEA)



Budget et ressources extrabudgétaires pour 1994. Dans la résolution relative au budget, la Conférence générale approuve pour 1994 des dépenses d'un montant de 200 millions de dollars, ce qui correspond à une croissance nulle en termes réels. Elle a en outre approuvé un objectif de 58,5 millions de dollars des Etats-Unis pour le Fonds d'assistance et de coopération techniques de l'AIEA pour 1994.

Dénucléarisation de l'Afrique. La Conférence générale a adopté par acclamation une résolution concernant une zone exempte d'armes nucléaires en Afrique. Reconnaisant que la divulgation complète des installations et des matières nucléaires de l'Afrique du Sud est un facteur contribuant à la paix et à la sécurité de la région ainsi qu'aux efforts déployés actuellement en vue de la création d'une zone exempte d'armes nucléaires, la résolution demande expressément à l'Afrique du Sud de poursuivre «sa politique déclarée de transparence totale». Elle félicite en outre les Etats africains de leurs efforts en vue de la création d'une zone exempte d'armes nucléaires en Afrique et prie le Directeur général de l'AIEA de continuer à les aider dans leurs efforts.

Inspections nucléaires en Iraq. La Conférence générale a adopté une résolution sur l'application des résolutions 687, 707 et 715 du Conseil de sécurité de l'ONU dans laquelle elle a décidé de rester saisie de la question. Dans cette résolution, la Conférence générale exige que l'Iraq «se conforme immédiatement et pleinement à toutes les obligations qui lui incombent en vertu des résolutions pertinentes du Conseil de sécurité», et notamment à la disposition exigeant qu'il présente «une déclaration complète et définitive sur son programme nucléaire» qui contienne toutes les informations demandées par le Conseil de sécurité ... en particulier à propos des questions en suspens concernant les fournisseurs étrangers d'articles déterminés utilisés dans le programme nucléaire iraquien et les sources qui ont fourni à l'Iraq des avis techniques, y compris l'acceptation du plan de contrôle continu. Elle recommande au Directeur général de l'Agence de poursuivre ses efforts visant à établir les mesures nécessaires à la mise en œuvre du plan de contrôle prévu en Iraq et d'informer le Secrétaire général de l'ONU des vues de la Conférence générale. La résolution a été adoptée par 73 voix contre zéro, avec quatre abstentions.

Garanties au Moyen-Orient. La Conférence générale a adopté par acclamation une résolution sur l'application des garanties de l'AIEA au Moyen-Orient. Elle y prie expressément le Directeur général de poursuivre les consultations avec les Etats du Moyen-Orient afin de faciliter l'application rapide de garanties intégrales de l'Agence à toutes les activités nucléaires dans la région dans

la mesure où cela concerne l'établissement de modèles d'accord, en tant qu'étape nécessaire vers la création d'une zone exempte d'armes nucléaires. Elle demande à tous les Etats de la région de prendre des mesures, visant notamment à accroître la confiance, et des mesures de vérification, en vue de la création d'une zone exempte d'armes nucléaires au Moyen-Orient.

Programme scientifique de la Conférence générale

Parallèlement à la Conférence générale, les représentants des Etats Membres ont participé à un programme scientifique portant sur trois sujets: la technologie nucléaire au service du développement industriel et de l'environnement, les conséquences sanitaires d'une exposition aux rayonnements et les options pour la partie terminale du cycle du combustible nucléaire.

Présidée par M. Mondino (Argentine), la partie du programme consacrée à la technologie nucléaire a permis à des non-spécialistes de s'informer sur les avantages économiques et écologiques des applications des techniques nucléaires autres que la production d'électricité pour un développement industriel écologiquement viable. Des exposés ont été présentés sur des projets industriels appuyés par l'AIEA et le Programme des Nations Unies pour le développement dans la région Asie et Pacifique sur les techniques faisant appel aux rayonnements et la protection de l'environnement, sur les applications industrielles des radio-isotopes et des rayonnements et sur les systèmes de contrôle nucléaires. La partie consacrée aux conséquences sanitaires d'une exposition aux rayonnements avait pour objet d'aider à mieux comprendre comment les risques d'exposition aux rayonnements sont déterminés et de les mettre en perspective. Les discussions ont porté en particulier sur les limites de l'évaluation radio-épidémiologique, sur la radio-exposition naturelle et les risques sanitaires qu'elle présente et sur les accidents radiologiques et leurs conséquences sanitaires. Dans le cadre des travaux consacrés à la partie terminale du cycle du combustible nucléaire, on a examiné et analysé les perspectives à court et à long terme en ce qui concerne les options envisageables dans le cas d'un cycle de combustible ouvert ou fermé. Les diverses stratégies suivies actuellement aux Etats-Unis, en Fédération de Russie, en France, en Inde, au Japon et en Suisse ont été présentées.

La réunion traditionnelle de hauts responsables en matière de sûreté et de radioprotection ainsi que des réunions de représentants des Etats Membres participant aux arrangements régionaux de coopération technique pour l'Afrique, l'Amérique latine et l'Asie et le Pacifique ont également eu lieu pendant la Conférence générale.

Prochainement: Colloque de l'AIEA sur les garanties internationales

L'AIEA organisera un colloque international sur les garanties à Vienne (Autriche) du 14 au 18 mars 1994, en coopération avec quatre autres organisations, à savoir la Société américaine pour l'énergie nucléaire, l'Association européenne de recherche et de développement pour les garanties, l'Institut de gestion des matières nucléaires et la Société nucléaire internationale (Moscou).

Il est prévu d'y examiner des sujets tels que l'expérience acquise en matière de vérification dans des situations spéciales, le renforcement de l'efficacité et l'accroissement du rendement des garanties, les garanties applicables au plutonium, à l'enrichissement de l'uranium, à la fabrication de combustible et aux installations de stockage de combustible irradié, la technologie de confinement et de surveillance, les méthodes de contrôle et l'évaluation des garanties, et les systèmes régionaux et nationaux de comptabilité et de contrôle des matières nucléaires.

Ne pourront participer au colloque que les personnes qui auront été désignées par le gouvernement d'un Etat Membre de l'AIEA ou par une organisation invitée. Les formulaires de participation peuvent être obtenus auprès de la Section des services de séances de l'AIEA ou des autorités nationales compétentes (en général, le ministère des affaires étrangères ou la commission nationale de l'énergie atomique). Les formulaires remplis doivent être transmis à l'AIEA par les voies officielles appropriées.

L'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture et l'AIEA ont créé en commun un Laboratoire central afin de promouvoir le recours au dosage immuno-enzymologique (ELISA) et aux techniques moléculaires pour le diagnostic des maladies animales. Ce laboratoire central — qui fera partie de l'unité de production animale des Laboratoires de l'Agence à Seibersdorf (Autriche) — mettra au point et diffusera des trousseaux de diagnostic pour appuyer les programmes d'assistance aux services vétérinaires des pays en développement exécutés par la FAO et l'AIEA. En coopération étroite avec l'Organisation mondiale de la santé et le Bureau international des épizooties, il élaborera et appliquera des normes internationales aux fins de l'exécution des dosages ELISA et de l'assurance de la validité de leurs résultats.

Les maladies bactériennes, virales et parasitaires des animaux contribuent à la malnutrition et

réduisent la production agricole et les revenus dans les pays en développement. Certaines de ces maladies entravent le commerce international du bétail et des produits animaux. Diverses techniques de diagnostic nouvelles telles que les dosages ELISA et les dosages par sondes ADN se sont révélés plus précises et plus fiables pour la lutte contre les maladies animales ou leur éradication, mais elles ne sont pas encore très répandues dans les pays en développement. En coordonnant les travaux d'élaboration de normes internationales et le transfert de méthodes de diagnostic faisant appel aux biotechnologies, le Laboratoire central FAO/AIEA devrait jouer un rôle clé pour aider les pays en développement à réduire l'impact des maladies animales et le coût des mesures visant à les combattre.

Techniques nucléaires et élevage

L'Echelle internationale des événements nucléaires (INES) remplit avec une efficacité croissante son objectif principal, à savoir renseigner le public sur l'importance des événements nucléaires et replacer ces événements dans la perspective qui convient. Il s'agit là de l'une des conclusions de la réunion des responsables nationaux INES tenue à l'AIEA en novembre 1993. Faisant le point de l'application de l'Echelle, les participants ont convenu qu'il y avait tout lieu d'être satisfait puisque 53 pays utilisent INES. Ils ont noté que l'Echelle était appliquée sans réserve depuis le début de 1992 pour classer les événements survenant dans des réacteurs nucléaires de puissance et que l'on avait entrepris d'élaborer des instructions détaillées en vue de son utilisation systéma-

tique pour des installations autres que des réacteurs de puissance.

INES a été conçue par un groupe international d'experts réuni conjointement par l'AIEA et l'Agence pour l'énergie nucléaire de l'Organisation de coopération et de développement économiques. Elle comprend sept niveaux permettant de classer les événements selon leur gravité; les événements correspondant aux niveaux 1 à 3 sont qualifiés d'incidents et ceux correspondant aux niveaux 4 à 7 d'accidents. INES a pour objet d'indiquer rapidement et de manière cohérente l'importance du point de vue de la sûreté d'événements signalés dans des installations nucléaires, afin de favoriser la compréhension mutuelle entre le public, les médias et la communauté nucléaire.

Bonnes notes pour INES

Etats-Unis: Politique de non-prolifération

Dans un discours prononcé le 27 septembre devant l'Assemblée générale des Nations Unies, le Président des Etats-Unis, M. Clinton, a indiqué les grandes lignes des efforts déployés par son pays en vue de prévenir la prolifération des armes de destruction massive et des missiles qui leur servent de vecteurs. L'un des éléments clés de la politique de non-prolifération des Etats-Unis consiste en une approche globale des problèmes posés par l'accumulation croissante de matières fissiles provenant d'armes nucléaires démontées ou de programmes nucléaires civils. Dans ce contexte, les Etats-Unis vont notamment proposer une convention multilatérale interdisant que de l'uranium fortement enrichi ou du plutonium soient produits aux fins de la fabrication d'explosifs nucléaires ou sans être astreints à des garanties internationales, et ils soumettront au contrôle de l'AIEA les matières fissiles dont ils n'ont plus besoin pour leur force de dissuasion. Cette politique traduit en outre la volonté des Etats-Unis d'œuvrer pour que le Traité sur la non-prolifération des armes nucléaires (TNP) soit prorogé indéfiniment en 1995 et de faire en sorte que l'AIEA dispose des ressources nécessaires pour s'acquitter de ses responsabilités vitales en matière de garanties et soit davantage en mesure de détecter des activités nucléaires clandestines.

République de Corée: Réacteurs avancés

Les besoins énergétiques futurs, notamment le rôle que pourrait jouer l'électronucléaire à cet égard et l'état de la technologie des filières de réacteurs nucléaires avancés ont été examinés lors d'un colloque international organisé conjointement par l'AIEA et la Compagnie d'électricité de Corée (KEPCO) à Séoul, du 18 au 22 octobre 1993. Quelque 400 experts venus de 29 pays et de cinq organisations internationales ont assisté à ce colloque, au cours duquel M. Hans Blix, directeur général de l'AIEA, a pris la parole.

Plusieurs communications sur la conception et les objectifs de sûreté des réacteurs avancés ont montré que ceux-ci sont plus sûrs, plus simples et, ce qui est fondamental, qu'ils sont compétitifs par rapport à la génération actuelle de centrales nucléaires. Les participants ont longuement examiné les facteurs qui font obstacle au recours aux filières électronucléaires avancées et les stratégies à suivre en la matière. Ils ont recensé un certain nombre de points communs tels que le manque de confiance du public et la nécessité de démontrer qu'il existe des solutions pour l'évacuation des déchets, d'instaurer une procédure stable et efficace d'autorisation et d'intéresser à nouveau les investisseurs. Il a été souligné qu'il fallait doubler d'efforts pour faire prendre conscience au

public des avantages économiques et environnementaux de l'électronucléaire.

Les participants ont estimé que les réacteurs refroidis à l'eau de la prochaine génération, dont on examine actuellement la conception à des fins d'autorisation, seront ceux qui, à court et à moyen terme, contribueront le plus à une éventuelle relance de l'électronucléaire. Ils ont en outre identifié un marché potentiel pour les réacteurs de faible et de moyenne puissance et noté à plus long terme qu'on pourrait aussi avoir besoin de surgénérateurs, et que des réacteurs plus novateurs deviendront peut-être viables et intéressants du point de vue commercial. Un certain nombre de suggestions précises ont également été faites à propos des activités futures, par exemple en ce qui concerne l'harmonisation éventuelle des objectifs de conception et de sûreté afin d'améliorer les perspectives de recours aux filières électronucléaires avancées et le rôle que des organisations internationales pourraient jouer dans l'établissement d'un projet de démonstration.

Canada: Le nucléaire et l'économie

Selon un rapport parrainé par L'énergie atomique du Canada, Limitée, (EACL), l'industrie nucléaire canadienne joue un rôle significatif dans l'économie du pays. Depuis que le Canada a commencé, en 1962, à produire de l'électricité d'origine nucléaire à l'échelle industrielle, la contribution totale de l'industrie nucléaire au produit intérieur brut (PIB) a été d'au moins 23 milliards de dollars. Au cours des 40 dernières années, les canadiens ont investi 4,7 milliards de dollars dans l'industrie nucléaire.

En 1992, les réacteurs nucléaires canadiens ont produit pour 3,7 milliards d'électricité et couvert 15% des besoins en électricité du pays. L'industrie nucléaire emploie en outre directement 30 000 canadiens, dont 3200 ingénieurs et scientifiques dans plus de 150 sociétés. De plus amples renseignements au sujet de ce rapport, intitulé «The Economic Effects of the Canadian Nuclear Industry», peuvent être obtenus auprès de l'EACL, Chalk River, Ontario, Canada KOJ 1J0.

Chine et République de Corée: Séminaires d'information

À la fin d'octobre et au début de novembre 1993, la République de Corée et la Chine ont chacune accueilli un séminaire d'information de l'AIEA sur l'énergie nucléaire auquel étaient invités des journalistes, des enseignants et des responsables gouvernementaux. L'AIEA et le Ministère de la science et de la technologie de la République de Corée (MOST) ont organisé à Séoul, du 26 au 28 octobre, un séminaire d'information sur l'éner-

gie nucléaire en coopération avec l'Organisation pour la sensibilisation des Coréens à l'énergie nucléaire. L'énergie nucléaire et les médias, l'information et l'enseignement sur le nucléaire dans divers pays, et l'énergie et l'environnement figuraient à l'ordre du jour de ce séminaire.

Du 1er au 3 novembre 1993, l'AIEA a organisé à Shanghai, en coopération avec la Société nucléaire nationale de Chine, un séminaire régional sur l'énergie nucléaire à l'intention de journalistes au cours duquel des exposés ont été présentés sur les orientations du développement électronucléaire en Asie, les risques et les avantages des centrales nucléaires modernes, l'information dans le domaine de l'énergie nucléaire et la nature des rayonnements et leur utilisation. Les participants ont également visité la centrale nucléaire de Qinshan.

L'Arménie, la République slovaque et la République tchèque deviennent Membres de l'AIEA

Trois Etats — l'Arménie, la République slovaque et la République tchèque — ont déposé les instruments juridiques requis pour devenir Membres de l'AIEA. Leur admission à l'Agence a été approuvée par la Conférence générale de l'AIEA en septembre 1993. Les instruments juridiques ont été déposés le 27 septembre. L'Agence compte désormais 117 Etats Membres.

La Conférence générale a également approuvé l'admission de trois autres Etats — les Iles Marshall, le Kazakhstan et l'ex-République yougoslave de Macédoine.

Royaume-Uni: Rapport sur l'irradiation

Le Conseil national de radioprotection (NRPB) du Royaume-Uni a publié un rapport sur les doses collectives dues aux rejets qui ont eu lieu dans le passé et à ceux qui sont prévus à l'avenir sur le site de la société British Nuclear Fuels à Sellafield. Dans ce rapport, on prend en considération les doses collectives concernant trois groupes différents — la population du Royaume-Uni, celle de l'Europe et celle de l'ensemble de la planète. Il a été établi que, dans chaque cas, la dose collective due à Sellafield, qui est la somme de doses très faibles reçues sur de très longues périodes, est très réduite par rapport à la dose collective résultant de sources de rayonnements naturelles ou médicales.

Ce rapport a été établi à la demande du Comité sur les aspects médicaux des rayonnements dans l'environnement. De plus amples renseignements peuvent être obtenus auprès du NRPB, Chilton, Didcot, Oxon OX110RQ, Royaume-Uni.

BLOC-NOTES.....

DROIT NUCLEAIRE. Trois fonctionnaires de l'AIEA, M. Mohamed ElBaradei, sous-directeur général de l'AIEA aux relations extérieures, et MM. Edwin I. Nwogugu et John M. Rames, fonctionnaires de la Division juridique de l'AIEA, ont publié un ouvrage intitulé «The International Law of Nuclear Energy». Cet ouvrage, qui est le premier recueil complet de documents de base sur le sujet, contient notamment des textes sur la non-prolifération nucléaire et les garanties, la sûreté nucléaire, la gestion des déchets radioactifs, le transport des matières radioactives, la radioprotection et la protection physique des matières nucléaires. De plus amples renseignements peuvent être obtenus auprès de l'éditeur, Martinus Nijhoff Publishers, P.O. Box 163, 3300 AD Dordrecht, Pays-Bas.

PESTICIDES ET ENVIRONNEMENT. Le Laboratoire d'étude du milieu marin de l'AIEA (LEMM) organise un programme de recherche coordonnée (PRC) sur la répartition, le devenir et les effets des pesticides sur le biote dans le milieu marin tropical. Ce programme, qui est organisé en collaboration avec la Division mixte FAO/AIEA, vise à aider les pays en développement à se doter des moyens voulus pour maîtriser et réduire au minimum les effets indésirables des résidus des pesticides sur le milieu marin tropical ainsi que sur l'homme, dans la mesure où celui-ci consomme des fruits de mer qui en proviennent. L'accent sera mis en particulier sur la mise au point et l'application de techniques nucléaires. De plus amples renseignements sur les aspects techniques de ce PRC peuvent être obtenus auprès de M. F.P. Carvalho, LEMM-AIEA, B.P. 800, MC 98 012 Monaco Cedex, Principauté de Monaco.

REVUE SUR LA GESTION DES DECHETS. La Société américaine pour l'énergie nucléaire (ANS) a annoncé la publication prochaine d'une revue trimestrielle intitulée «Radwaste Magazine», qui sera consacrée à la gestion des déchets radioactifs et à la restauration de l'environnement. Cette revue rendra essentiellement compte de ce qui se fait aux Etats-Unis mais il est également prévu d'y publier occasionnellement des articles sur les programmes et les pratiques d'autres pays. De plus amples renseignements peuvent être obtenus auprès de l'ANS, 555 N. Kensington Ave, La Grange Park, Illinois, USA 60525.

.....

DONNEES STATISTIQUES INTERNATIONALES

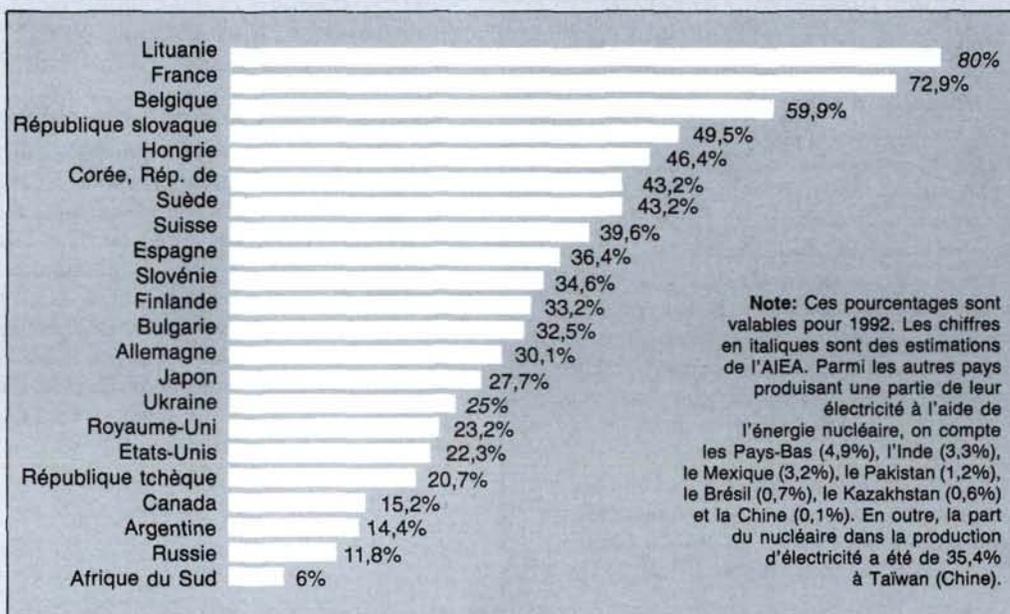
Situation de l'énergie nucléaire dans le monde

	En service		En construction	
	Nombre de tranches	Total MWe	Nombre de tranches	Total MWe
Afrique du Sud	2	1 842		
Allemagne	21	22 559		
Argentine	2	935	1	692
Belgique	7	5 484		
Brésil	1	626	1	1 245
Bulgarie	6	3 538		
Canada	21	14 874	1	881
Chine	1	288	2	1 812
Corée, Rép. de	9	7 220	3	2 550
Cuba			2	816
Espagne	9	7 101		
Etats-Unis d'Amérique	109	98 729	3	3 480
Fédération de Russie	28	18 893	18	14 175
Finlande	4	2 310		
France	56	57 688	5	7 125
Hongrie	4	1 729		
Inde	9	1 593	5	1 010
Iran			2	2 392
Japon	44	34 238	9	8 129
Kazakhstan	1	135		
Lituanie	2	2 760	1	1 380
Mexique	1	654	1	654
Pakistan	1	125		
Pays-Bas	2	504		
République slovaque	4	1 632	4	1 552
République tchèque	4	1 632	2	1 784
Roumanie			5	3 155
Royaume-Uni	37	12 066	1	1 188
Slovénie	1	632		
Suède	12	10 002		
Suisse	5	2 952		
Ukraine	15	13 020	6	5 700
TOTAL*	424	330 651	72	59 720

*Ce total inclut Taiwan (Chine) où six réacteurs d'une puissance totale de 4890 MWe sont en service. En 1992, ces réacteurs ont assuré 35,4% de la production totale d'électricité de l'île.

Remarques: Ces données reflètent la situation à la fin de 1992 et reposent sur les déclarations faites à l'AIEA. Dans le cas des Etats-Unis, le tableau ne tient pas compte de l'arrêt d'une centrale signalé en février 1993.

Part du nucléaire dans la production d'électricité de quelques pays



INSTANT *Alpha Spectroscopy*

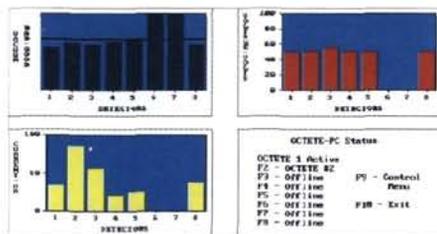
NEVER AGAIN assemble a multitude of components to perform alpha spectroscopy!

Meet OCTÊTE PC™ from EG&G ORTEC — the world's first **integrated**, eight-input, alpha spectroscopy system. OCTÊTE PC includes everything you need. Just make one PC connection and one vacuum connection . . . and **INSTANTLY**, you have a complete system with 8 independent channels.

OCTÊTE PC . . .

. . . *Easy to use*

Completely computer-controlled; detector bias, current, and vacuum are visible for each channel.



. . . *Flexible*

Sample flexibility: Accommodates samples 2 in. in diameter in the eight INDEPENDENT vacuum chambers.

Functional flexibility: Each channel may operate over a different energy range; data acquisition is totally independent for each channel.

. . . *Expandable*

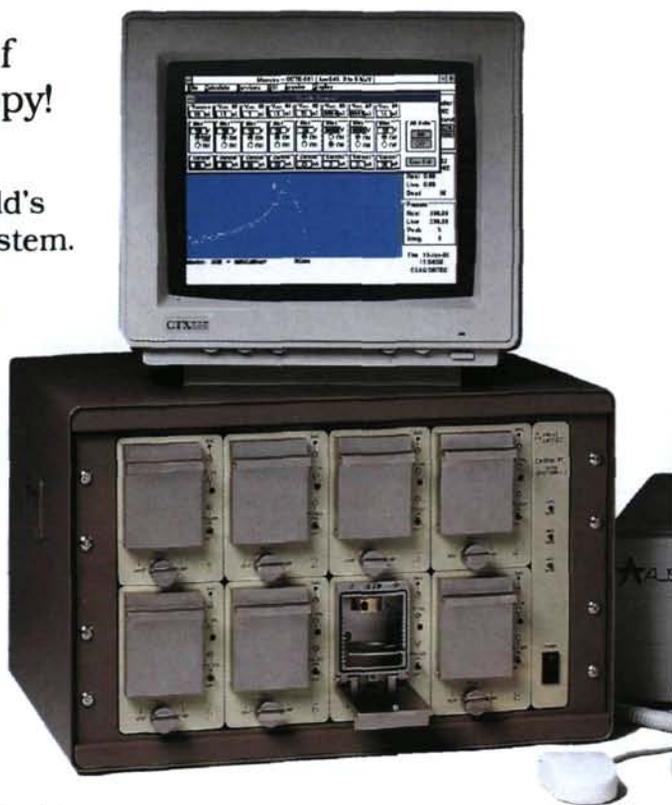
Expansion flexibility: Systems with more than 100 detectors are easily configured.

. . . *Reliable*

Vacuum reliability: Each of the eight independent vacuum chambers has a special, **high-performance** O-ring set into the cast chamber face, for a perfect seal, sample after sample.

Electronic reliability: Surface-mount electronics technology ensures high electronic reliability.

Detector reliability: EG&G ORTEC's own ULTRA™ ion-implanted-silicon detectors, with areas up to 1200 mm² provide excellent resolution, extremely low background, and high reliability.



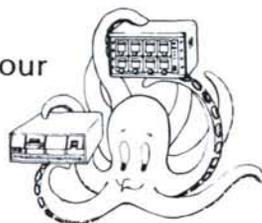
. . . *Easy to decontaminate*

ULTRA detectors are easily cleaned of surface contamination, as is the nickel-plated chamber. For severe contamination, a chamber may even be isolated and quickly removed for further cleaning or replacement.

. . . *Saves money*

Careful design has resulted in a high-quality spectroscopy system capable of delivering ultra-low cost per sample.

Call today for OCTÊTE PC, the **instant solution** to all your alpha-spectroscopy requirements.



 **EG&G ORTEC** HOTLINE 800-251-9750

100 Midland Road, Oak Ridge, TN 37831-0895 U.S.A. • (615) 482-4411 • Telex 6843140 EGGOKRE • Fax (615) 483-0396

AUSTRIA (02) 22942251 **BELGIUM** (02) 2516010 **CANADA** (416) 827-2400 **FRANCE** (01) 47.81.41.06 **GERMANY** (089) 926920 **ITALY** (02) 7610267 **JAPAN** (03) 3638-1506 **THE NETHERLANDS** (03402) 48777 **UNITED KINGDOM** (0734) 773003

TOUR D'HORIZON

IAEA YEARBOOK 1993

L'édition de 1993 de cet annuaire présente les faits nouveaux du secteur nucléo-énergétique, les progrès des techniques et de la recherche nucléaires et l'action de l'AIEA dans le monde. Elle donne un résumé détaillé des activités de sûreté nucléaire et de radioprotection dans divers pays. L'annuaire comprend également des dossiers sur le cycle du combustible nucléaire depuis les ressources d'uranium jusqu'à la gestion des déchets radioactifs et sur l'exploitation des centrales nucléaires. Il présente également les coûts actuels et futurs des projets de centrales, les modèles de réacteurs de pointe devant produire non seulement de l'électricité mais aussi de la vapeur et de la chaleur industrielles, l'offre et la demande en divers points du cycle du combustible, et les progrès de la technologie du combustible. Il est également question en détail du système de garanties de l'AIEA ainsi que du programme d'assistance et de coopération techniques de l'AIEA dans divers domaines nucléaires. (Note: Certaines parties sont vendues séparément.)

Prix: 500 schillings autrichiens

ISBN 92-0-102493-2 (STI/PUB/935)

Nuclear Power, Nuclear Fuel Cycle and Waste Management: Status and Trends 1993

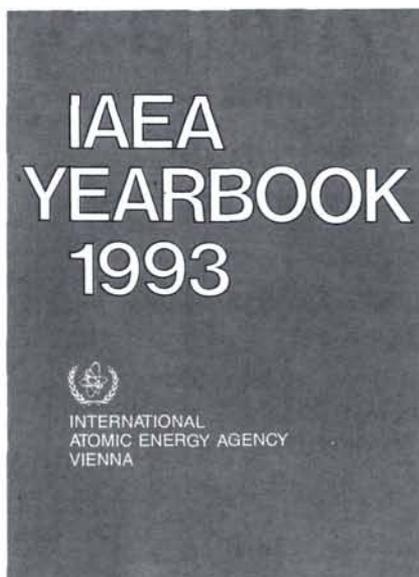
Partie C de l'annuaire

«IAEA Yearbook 1993»

Cette publication porte sur l'électro-nucléaire (avec des synthèses de l'évolution des programmes des divers pays), les questions relatives au cycle du combustible (ressources en uranium, enrichissement, conversion, technologie du combustible pour réacteurs et gestion du combustible usé irradié, notamment) et la gestion des déchets radioactifs (notamment le traitement et le conditionnement, l'évacuation, la décontamination et le déclassement). Elle décrit en détail la situation en 1992, de même que les tendances prévues pour les deux prochaines décennies.

Prix: 200 schillings autrichiens

ISBN 92-0-102593-9 (STI/PUB/936)



Nuclear Safety Review 1993

Partie D de l'annuaire

«IAEA Yearbook 1993»

Cette publication passe en revue les réalisations dans le domaine de la sûreté nucléaire et de la protection radiologique, notamment le nombre croissant de projets lancés conjointement par des organisations régionales et internationales. Elle décrit les programmes de l'AIEA liés à la sûreté des réacteurs de conception soviétique et l'initiative, prise récemment avec le Programme des Nations Unies pour le développement, visant à renforcer les infrastructures de sûreté radiologique et nucléaire dans les nouveaux Etats indépendants. Elle présente également une mise à jour sur les causes de l'accident de Tchernobyl et fait état des progrès accomplis dans l'application de l'Echelle internationale des événements nucléaires et des techniques d'analyse probabiliste de la sûreté. Elle traite aussi des nouvelles Normes fondamentales internationales de radioprotection et du transport des matières radioactives.

Prix: 200 schillings autrichiens

ISBN 92-0-102693-5 (STI/PUB/937)

PHYSIQUE DES PLASMAS ET FUSION NUCLEAIRE

Plasma Physics and Controlled Nuclear Fusion Research 1992

Volumes 1, 2, 3 et 4

Cette publication comprend les comptes rendus de la quatorzième Conférence internationale sur la physique des plasmas et la recherche concernant la fusion nucléaire contrôlée, qui s'est tenue à Würzburg du 30 septembre au 7 octobre 1992. La Conférence a pris connaissance des résultats récents provenant de toutes les grandes installations de fusion existant dans le monde, notamment de l'expérimentation décisive JET dans laquelle du tritium a été injecté pour la première fois dans un mélange combustible Tokamak. Les comptes rendus comprennent tous les exposés techniques, les discussions les concernant et cinq synthèses sur la conférence.

(STI/PUB/906)

ISBN 92-0-101093-1

Prix: 2200 schillings autrichiens

ISBN 92-0-101193-8

Prix: 1900 schillings autrichiens

ISBN 92-0-101293-4

Prix: 1560 schillings autrichiens

ISBN 92-0-101393-0

Prix: 240 schillings autrichiens

SURETE NUCLEAIRE ET RADIOLOGIQUE

Strengthening Radiation and Nuclear Safety Infrastructures in Countries of the Former USSR

Cet ouvrage inclut les comptes rendus d'un forum organisé par le Programme des Nations Unies pour le développement et l'AIEA du 4 au 7 mai 1993 à Vienne. Ce forum a constitué la première phase d'un projet commun visant à offrir aux pays de l'ancienne URSS un programme d'aide globale, prévoyant la création d'un cadre juridique adéquat, pour renforcer l'ensemble de l'infrastructure nationale de radioprotection et de sûreté nucléaire. L'accent porte principalement sur les efforts en vue d'améliorer la sûreté d'installations telles que les réacteurs de recherche, les installations d'extraction et de concentration de l'uranium, et les installations contenant des sources de rayonnements utilisées en médecine, en agriculture et dans l'industrie.

Prix: 300 schillings autrichiens

ISBN 92-0-102793-1 (STI/PUB/939)

ALIMENTATION ET AGRICULTURE

Cost-benefit Aspects of Food Irradiation Processing *Collection Comptes rendus*

Ce volume présente les comptes rendus d'un colloque organisé conjointement avec la FAO et l'OMS en mars 1993. Le colloque avait pour but d'évaluer les coûts et les avantages de l'irradiation pour traiter divers aliments soit séparément, soit parallèlement à d'autres procédés. L'application de cette technique a été évaluée du point de vue de la réduction des pertes alimentaires ainsi que de l'incidence économique qu'elle peut avoir en permettant de prévenir ou de réduire certaines maladies transmissibles par les aliments et d'accroître les échanges de certaines denrées. Les discussions ont surtout porté sur les avantages économiques de l'irradiation comme moyen de prévenir un certain nombre de maladies transmissibles par les aliments et comme traitement quarantenaire éventuel de fruits et légumes frais.

Prix: 1400 schillings autrichiens
ISBN 92-0-000393-1 (STI/PUB/905)

Management of Insect Pests: Nuclear and Related Molecular and Genetic Techniques *Collection Comptes rendus*

Cet ouvrage contient le compte rendu d'un colloque organisé conjointement avec la FAO du 19 au 23 octobre 1992 à Vienne. Des progrès importants ont été accomplis ces dix dernières années, de nombreuses difficultés ayant été surmontées en ce qui concerne les méthodes biologiques de lutte antivagueur. Il importe notamment de noter l'évolution des techniques moléculaires et de la biotechnologie. Ce colloque s'est surtout attaché à montrer les progrès et les tendances relevés dans les domaines suivants: lutte contre les insectes et leur éradication, génie génétique et biologie moléculaire, génie entomologique, programmes opérationnels, stérilité et comportement, lutte biologique, et quarantaine.

Prix: 1900 schillings autrichiens
ISBN 92-0-000293-5 (STI/PUB/909)

POINTS DE VENTE DES PUBLICATIONS DE L'AIEA

● Dans les pays ci-après, les publications de l'AIEA sont en vente aux adresses indiquées ci-après ou par l'intermédiaire des principales librairies locales. Le paiement peut être effectué en monnaie locale ou en coupons de l'UNESCO:

AFRIQUE DU SUD

Van Schaik Bookstore (Pty) Ltd.,
P.O. Box 724, Pretoria 0001

ALLEMAGNE

UNO-Verlag, Vertriebs- und Verlags GmbH,
Dag Hammarskjöld-Haus,
Poppelsdorfer Allee 55, D-53115 Bonn

ARGENTINE

Comisión Nacional de Energía Atómica,
Avenida del Libertador 8250,
RA-1429 Buenos Aires

AUSTRALIE

Hunter Publications, 58A Gipps Street,
Collingwood, Victoria 3066

BELGIQUE

Service Courrier UNESCO,
202, Avenue du Roi, B-1060 Bruxelles

CHILI

Comisión Chilena de Energía Nuclear,
Venta de Publicaciones,
Amunátegui 95, Casilla 188-D, Santiago

CHINE

Publications de l'AIEA en chinois:
China Nuclear Energy Industry Corporation,
Translation Service,
P.O. Box 2103, Beijing

Publications de l'AIEA en d'autres langues:

China National Publications Import & Export
Corporation,
Deutsche Abteilung, P.O. Box 88, Beijing

ESPAGNE

Díaz de Santos, Lagasca 95,
E-28006 Madrid
Díaz de Santos, Balmes 417,
E-08022 Barcelone

FEDERATION DE RUSSIE

Mezhdunarodnaya Kniga, Sovinkniga-EA,
Dimitrova 39, SU-113 095 Moscou

FRANCE

Office International de Documentation et
Librairie, 48, rue Gay-Lussac,
F-75240 Paris Cedex 05

HONGRIE

Librotrade Ltd., Book Import,
P.O. Box 126, H-1656 Budapest

INDE

Oxford Book and Stationery Co.,
17, Park Street, Calcutta-700 016
Oxford Book and Stationery Co.,
Scindia House, New Delhi-110 001

ISRAEL

YOZMOT Literature Ltd.,
P.O. Box 56055, IL-61560 Tel Aviv

ITALIE

Libreria Scientifica
Dott. Lucio di Biasio «AEIOU»,
Via Coronelli 6, I-20146 Milan

JAPON

Maruzen Company, Ltd.,
P.O. Box 5050, 100-31 Tokyo International

PAKISTAN

Mirza Book Agency,
65, Shahrah Quaid-e-Azam, P.O. Box 729,
Lahore-3

PAYS-BAS

Martinus Nijhoff International,
P.O. Box 269, NL-2501 AX La Haye
Swets and Zeitlinger b.v.,
P.O. Box 830, NL-2610 SZ Lisse

POLOGNE

Ars Polona, Foreign Trade Enterprise,
Krakowskie Przedmieście 7,
PL-00-068 Varsovie

REPUBLIQUE SLOVAQUE

Alfa Publishers,
Hurbanovo námestie 3, 815 89 Bratislava

ROUMANIE

Ilexim, P.O. Box 136-137, Bucarest

ROYAUME-UNI

HMSO, Publications Centre, Agency Section,
51 Nine Elms Lane, Londres SW8 5DR

SUEDE

AB Fritzes Kungl. Hovbokhandel,
Fredsgatan 2, P.O. Box 16356,
S-103 27 Stockholm

YOUgosLAVIE

Jugoslovenska Knjiga,
Terazije 27, P.O. Box 36, YU-11001 Belgrade

● Pour les Etats-Unis d'Amérique et le Canada, il existe un dépositaire exclusif des publications de l'AIEA, à qui toutes les commandes et demandes de renseignements doivent être adressées:

UNIPUB
4611-F Assembly Drive
Lanham
MD 20706-4391

● Les commandes (excepté pour le Canada et les Etats-Unis) et demandes de renseignements peuvent être directement adressées à:

l'Unité de la vente des publications et de la publicité
Agence internationale de l'énergie atomique
Wagramerstrasse 5, B.P. 100, A-1400 Vienne, Autriche

BASES DE DONNEES EN LIGNE

AGENCE INTERNATIONALE DE L'ENERGIE ATOMIQUE



Désignation

Système de documentation sur les réacteurs de puissance (PRIS)

Description

Répertoire technique

Producteur

Agence internationale de l'énergie atomique en collaboration avec 29 de ses Etats membres

Service compétent

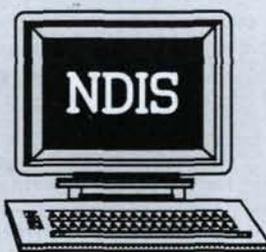
AIEA, Section du génie nucléaire, B.P. 100, A-1400 Vienne, Autriche
Téléphone (43) (1) 2360, télex (1)-12645
Fac-similé +43 1 234564
Courrier électronique via EARN/BITNET-INTERNET
ID: NES @ IAEA 1.IAEA.OR.AT

Domaine

Information mondiale sur les réacteurs de puissance en exploitation, en construction, en projet ou mis à l'arrêt et données d'expérience sur l'exploitation des centrales nucléaires dans les Etats membres de l'AIEA.

Sujets traités

Etat du réacteur, désignation, emplacement, type, constructeur, fournisseur des turbo-alternateurs, propriétaire et exploitant de la centrale, puissance thermique, puissance électrique brute et nette, date de mise en chantier, date de la première criticité, date de la première synchronisation avec le réseau, exploitation industrielle, date de la mise à l'arrêt, caractéristiques du cœur du réacteur et renseignements sur les systèmes de la centrale; énergie produite, arrêts prévus et imprévus, facteurs de disponibilité et d'indisponibilité, facteur d'exploitation et facteur de charge.



Désignation

Système de documentation sur les constantes nucléaires (NDIS)

Description

Données numériques et bibliographiques

Producteur

Agence internationale de l'énergie atomique en collaboration avec le Nuclear Data Centre du Laboratoire national de Brookhaven (Etats-Unis), la Banque de constantes nucléaires de l'Agence pour l'énergie nucléaire de l'Organisation de coopération et de développement économiques à Paris, et un réseau de 22 autres centres de constantes nucléaires dans le monde

Service compétent

AIEA, Section des constantes nucléaires B.P. 100, A-1400 Vienne, Autriche
Téléphone (43) (1) 2360, télex (1)-12645
Fac-similé +43 1 234564
Courrier électronique via EARN/BITNET-INTERNET
ID: RNDS @ IAEA 1.IAEA.OR.AT

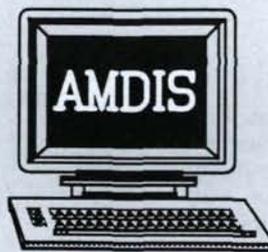
Domaine

Fichier de constantes de physique nucléaire numériques décrivant l'interaction des rayonnements avec la matière, et renseignements bibliographiques connexes.

Sujets traités

Constantes évaluées de réactions neutroniques en ENDF; constantes expérimentales de réactions nucléaires en EXFOR, pour les réactions produites par les neutrons, les particules chargées, ou les photons; périodes nucléaires et constantes de désintégration radioactive dans les systèmes NUDAT et ENSDF; renseignements bibliographiques connexes tirés des bases de données de l'AIEA, CINDA et NSR; divers autres types de données.

Note: L'information NDIS recherchée en mode non connecté peut aussi être obtenue du producteur sur bande magnétique.



Désignation

Système de documentation sur les constantes atomiques et moléculaires (AMDIS)

Description

Données numériques et bibliographiques

Producteur

Agence internationale de l'énergie atomique en collaboration avec le réseau international des centres de constantes atomiques et moléculaires, qui regroupe 16 centres de constantes nationaux

Service compétent

Unité de constantes atomiques et moléculaires, Section des constantes nucléaires de l'AIEA
Courrier électronique via BITNET à RNDS@IAEA1; ou via INTERNET ID: PSM@RIPCRS01.IAEA.OR.AT

Domaine

Données atomiques et moléculaires et données sur l'interaction plasma-surface, ainsi que sur les propriétés des matériaux intéressants du point de vue de la recherche et de la technologie relatives à la fusion

Sujets traités

Données au format ALADDIN relatives à la structure atomique et aux spectres (niveaux d'énergie, longueurs d'onde et probabilités de transition); collisions d'électrons et de particules lourdes avec des atomes, des ions et des molécules (sections efficaces et/ou coefficients de vitesse, y compris, dans la plupart des cas, ajustement analytique avec les données); érosion superficielle par impact des principaux composants du plasma et auto-érosion; réflexion de particules sur les surfaces; propriétés thermophysiques et thermomécaniques du béryllium et des graphites pyrolytiques.

Note: Le résultat des recherches effectuées en mode déconnecté peut être obtenu du producteur sur disquette, sur bande magnétique ou sous forme imprimée. Le logiciel ALADDIN et son manuel d'utilisation sont également disponibles auprès du producteur.



Désignation

Système international d'information pour les sciences et la technologie agricoles (AGRIS)

Description

Bibliographie

Producteur

Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) en collaboration avec 172 centres régionaux, nationaux et internationaux d'AGRIS

Service compétent

Poste de traitement d'AGRIS c/o AIEA, B.P. 100, A-1400 Vienne, Autriche
Téléphone (43) (1) 2360, télex (1)-12645
Fac-similé +43 1 234564
Courrier électronique via EARN/BITNET-INTERNET
ID: FAS @ IAEA 1.IAEA.OR.AT

Nombre d'enregistrements accessibles depuis janvier 1992 plus de 150 000

Domaine

Information mondiale sur les sciences et la technologie agricoles, y compris la foresterie, la pêche et la nutrition.

Sujets traités

Agriculture en général; géographie et histoire; enseignement, vulgarisation et information; administration et législation; économie agricole; développement et sociologie rurale; phytotechnie, zootechnie et production végétale et animale; protection phytosanitaire; technologie post-récolte; pêche et aquaculture; machines et génie agricoles; ressources naturelles; traitement des produits agricoles; nutrition humaine; pollution; méthodologie.

Pour accéder à ces bases de données, s'adresser aux producteurs. L'information peut également être fournie par le producteur sous forme imprimée, à titre onéreux. INIS et AGRIS sont également disponibles sur CD-ROM.



Désignation
Système international
de documentation nucléaire
(INIS)

Description
Bibliographie

Producteur
Agence internationale
de l'énergie atomique
en collaboration avec
82 de ses Etats membres et
16 autres organisations participantes

Service compétent
AIEA, Section de l'INIS,
B.P. 100, A-1400 Vienne, Autriche
Téléphone (43) (1) 2360, télex (1)-12645
Fac-similé +43 1 234564
Courrier électronique via
EARN/BITNET-INTERNET
ID: NIS @ IAEA 1.IAEA.OR.AT

**Nombre d'enregistrements
accessibles**
depuis janvier 1976
plus de 1 500 000

Domaine
Information mondiale sur les appli-
cations pacifiques de la science et de la
technologie nucléaires, ainsi que sur les
aspects économiques et environ-
nementaux de toutes les autres
sources d'énergie.

Sujets traités
Essentiellement: réacteurs nucléaires,
sûreté des réacteurs, fusion nucléaire,
application des rayonnements ou des
isotopes en médecine, en agriculture,
dans l'industrie, dans la lutte contre
les ravageurs, ainsi que dans des
domaines connexes tels que la chimie
nucléaire, la physique nucléaire et la
science des matériaux. Plus spéciale-
ment: effets environnementaux,
économiques et sanitaires de l'énergie
nucléaire et incidences économiques et
environnementales des sources
d'énergie non nucléaires.
Aspects juridiques et sociaux
de ces diverses questions.

INIS

ON CD-ROM



The IAEA's
nuclear science
and
technology
database on
CD-ROM

5000 JOURNALS

1.4 MILLION RECORDS

6 COMPACT DISCS

INIS (the International Nuclear Information System) is a multi-disciplinary, bibliographic database covering all aspects of the peaceful uses of nuclear science and technology. INIS on CD-ROM combines the worldwide coverage of the nuclear literature with all the advantages of compact disc technology.

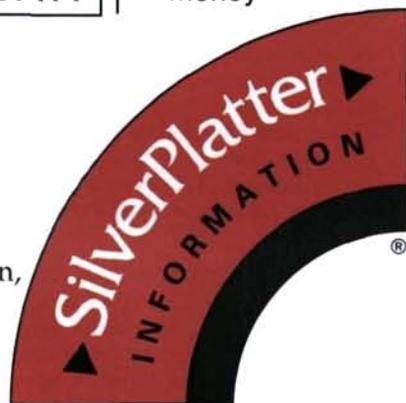
Call +44 (0)81 995 8242 TODAY!

*for further information
and details of your local distributor*

or write to
SilverPlatter Information Ltd.
10 Barley Mow Passage, Chiswick, London,
W4 4PH, U.K.
Tel: 0800 262 096 +44 (0)81 995 8242
Fax: +44 (0)81 995 5159

CD-ROM means

- ◆ unlimited easy access
- ◆ fast, dynamic searching
- ◆ fixed annual cost
- ◆ flexible down-loading and printing
- ◆ desktop access
- ◆ easy storage
- ◆ saving time, space and money



VACANCES DE POSTES ANNONCEES A L'AIEA

TRADUCTEUR (LANGUE RUSSE) (93-082), Département de l'administration. Les qualifications requises pour ce poste P-3 sont les suivantes: diplôme universitaire ou équivalent. Les candidats doivent avoir au moins trois ans d'expérience correspondante, une aptitude confirmée pour la traduction ainsi que la capacité d'aborder des questions techniques difficiles. *Date limite pour la présentation des candidatures: 15 avril 1994.*

SPECIALISTE DE LA RADIOPROTECTION (93-083), Département de l'énergie et de la sûreté nucléaires. Les qualifications requises pour ce poste P-3 sont les suivantes: diplôme universitaire en médecine et au moins dix ans d'expérience acquise au niveau national, dont au moins cinq en ce qui concerne les aspects médicaux de la radioprotection, y compris la réglementation et les normes internationales; une expérience d'au moins deux ans au niveau international est indispensable. *Date limite pour la présentation des candidatures: 15 avril 1994.*

SPECIALISTE DES SYSTEMES INFORMATIQUES (94-001), Département de l'énergie et de la sûreté nucléaires. Les qualifications requises pour ce poste P-2 sont les suivantes: diplôme supérieur en informatique ou dans une discipline connexe, deux ans d'expérience pratique du traitement de l'information, excellente aptitude à communiquer tant par écrit qu'oralement, expérience pratique de l'appui à la clientèle et solides connaissances des innovations techniques dans le domaine de l'informatique. *Date limite pour la présentation des candidatures: 19 mai 1994.*

CHEF DE SECTION (94-002), Département de l'administration. Les qualifications requises pour ce poste P-4/P-5 sont les suivantes: diplôme universitaire en administration des entreprises, diplôme d'ingénieur ou qualification équivalente dans le domaine de l'impression et de la publication, au moins dix ans d'expérience appropriée dans un organisme national et/ou international ou dans le secteur privé de l'impression et une expérience confirmée de l'administration et de l'encadrement. *Date limite pour la présentation des candidatures: 19 avril 1994.*

CHEF DE SECTION (94-003), Département de l'énergie et de la sûreté nucléaires. Les qualifications requises pour ce poste P-5 sont les suivantes: diplôme universitaire ou équivalent en physique ou en chimie et au

moins 15 ans d'expérience des questions de mesure en radioprotection, dont dix à un poste de responsabilité élevé. *Date limite pour la présentation des candidatures: 19 mai 1994.*

ANALYSTE DES DONNEES SUR LES GARANTIES (94-004), Département des garanties. Les qualifications requises pour ce poste P-4 sont les suivantes: diplôme universitaire en chimie ou en physique, au moins dix ans d'expérience de divers systèmes de mesure des propriétés nucléaires et de l'analyse des résultats, ainsi qu'une certaine expérience/formation dans le domaine des méthodes statistiques. *Date limite pour la présentation des candidatures: 26 mai 1994.*

CHEF DE SECTION (94-005), Département de la coopération technique. Les qualifications requises pour ce poste P-5 sont les suivantes: diplôme universitaire supérieur ou équivalent en science nucléaire, technologie ou administration des entreprises. Au moins 15 ans d'expérience, dont cinq au niveau international dans les domaines suivants: gestion de projets, y compris leur conception, leur exécution sur le terrain, leur suivi et leur évaluation; administration de la coopération technique à la fois sur le terrain et au Siège; bonne connaissance des techniques d'analyse de la gestion, des programmes, des données statistiques et de la qualité; expérience directe d'organismes de développement multilatéraux et bilatéraux, notamment de leurs systèmes et procédures de gestion des projets. *Date limite pour la présentation des candidatures: 25 mars 1994.*
Ce poste est publié pour la deuxième fois.

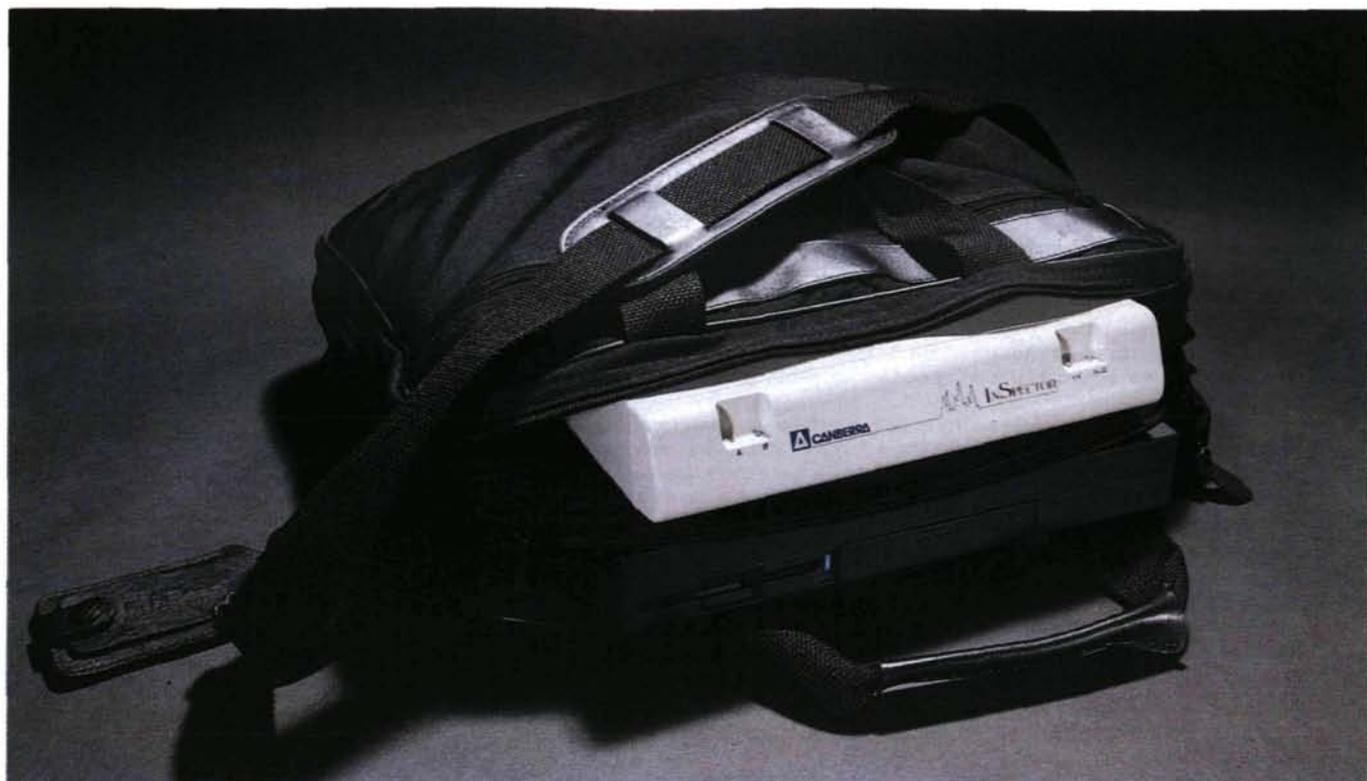
INGENIEUR DE CENTRALE NUCLEAIRE (94-006), Département de l'énergie et de la sûreté nucléaires. Les qualifications requises pour ce poste P-4 sont les suivantes: maîtrise ou équivalent en génie nucléaire ou en mécanique et au moins dix ans d'expérience des projets électronucléaires, acquise de préférence dans la gestion des projets et la mise en place d'infrastructures. *Date limite pour la présentation des candidatures: 26 mai 1994.*

NOTE:

Le *Bulletin de l'AIEA* publie de brefs résumés d'avis de vacances de poste à l'intention de ses lecteurs souhaitant se renseigner sur le genre de postes d'administrateur qui sont à pourvoir à l'AIEA. Ces résumés ne constituent pas des avis officiels et ils sont susceptibles d'être modifiés. L'AIEA envoie fréquemment des avis de vacances aux organes gouvernementaux et organismes de ses Etats Membres (en général le ministère des affaires étrangères et l'autorité chargée de l'énergie atomique) ainsi qu'aux bureaux et centres d'information de l'Organisation des Nations Unies. Il est conseillé aux personnes intéressées par une éventuelle candidature de se tenir en rapport avec ces organismes. De plus amples renseignements sur les possibilités d'emploi à l'AIEA peuvent être obtenus en écrivant à la Division du personnel, B.P. 100, A-1400 Vienne (Autriche).

SERVICES INFORMATIQUES CONNECTES

Les avis de vacances de poste d'administrateur de l'AIEA de même que les notices personnelles sont désormais disponibles sur un réseau informatique mondial auquel on peut accéder directement par les services Internet. Ces avis de vacances ont été placés dans un répertoire public accessible par les services normaux de transfert de fichiers Internet. Pour utiliser ce service, connectez-vous à l'adresse INTERNET de l'Agence NESIRS01.IAEA.OR.AT (161.5.64.10), ouvrez une session en vous identifiant comme «anonymous» et tapez votre mot de passe utilisateur. Les vacances de poste sont dans le répertoire intitulé «pub/vacancy posts». Le fichier README contient des informations générales et le fichier INDEX un bref résumé de chaque vacance de poste. La notice personnelle de l'Agence ainsi que la brochure sur les conditions d'emploi sont également disponibles sous forme de fichiers qui peuvent être copiés. Veuillez noter que les candidatures ne peuvent pas être transmises sur le réseau informatisé, car elles doivent être adressées par écrit à la Division du personnel de l'AIEA.



Meet the InInspector... The First *Real* Portable Spectroscopy System

A *Real* Portable...

Until now "portable" spectroscopy systems have not been portable – or systems. Arm stretching weights, poor power management and compromised spectroscopy performance are now only bad memories.

The InInspector changes all that. Weighing in at less than 7 lbs. with batteries, the InInspector is ideal for environmental in-situ work, in plant spot checks and safeguards inspections. The sophisticated power management and dual camcorder type battery packs provide all day uninterrupted operation. A quick connect/disconnect composite detector cable is designed for fast moving operations. Measure, move, measure again, move again - effortlessly - all day.

...for *Real* Spectroscopy

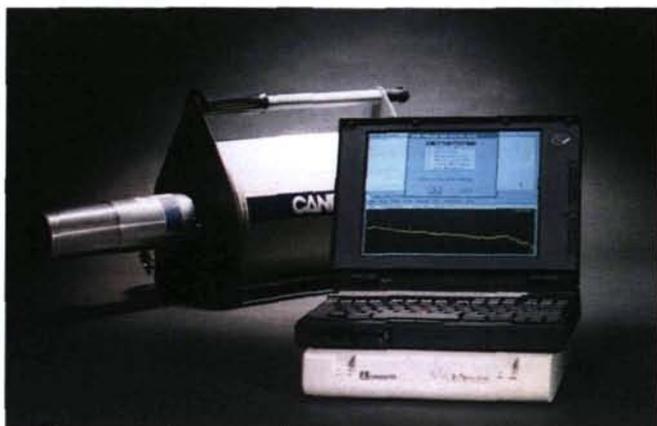
But the InInspector's performance is anything but light-weight. Laboratory grade electronics provide exceptional resolution over a wide range of incoming count rates. Digital stabilization, automatic amplifier pole zero and 100% computer programmability add up to a spectroscopy front end that is at home in the lab *or* the field.

The InInspector's software is based on Canberra's popular Genie-PC spectroscopy platform. Robust analysis algorithms combine with automated procedures for counting, calibration and QA to provide complete operation right out-of-the-box.

...with *Real* Workstation Power

The InInspector is more than a field instrument. It is an integral part of your whole operation. The Genie-PC software ensures full compatibility with your laboratory based Genie systems. Data can be transferred, re-analyzed and integrated into your lab databases without special conversions or headaches.

Finally, *Real* Portable Spectroscopy. The InInspector.



Canberra Industries Inc., 800 Research Parkway, Meriden, CT 06450 U.S.A.
Tel: (203) 238-2351 TX: 643251 FAX: (203) 235-1347

Canberra International offices:

Australia, Victoria 008-335638, Mt Waverley 543-4266; Austria, Vienna 43-1-302504-0; Belgium, Brussels 32-2-4668210; Olen 32-14-221975; Canada, Ontario 1-800-387-9559; Denmark, Greve 45-42909023; France, Savigny-le-Temple (33) 1 64.41.10.10; Germany, Frankfurt (49-69) 663010; Italy, Milano (02) 33910796; Netherlands, Tilburg (013) 423900; Russia, Moscow 7-095-238-7335; Switzerland, Zurich (01) 481 69 44; United Kingdom, Pangbourne, Berks (44) 0734 844981.



Evaluation comparative de l'efficacité et de la toxicité du phosphore 32 administré par voie orale et du strontium 89 administré par voie intraveineuse pour le traitement palliatif des métastases douloureuses du squelette

Déterminer lequel de ces deux radionucléides convient le mieux pour le traitement palliatif de patients dans les pays en développement, où les ressources pour la lutte contre le cancer sont très limitées.

Collecte et évaluation de données de référence concernant les propriétés thermomécaniques des matériaux opposés au plasma dans des réacteurs à fusion

Recueillir et évaluer de manière critique des données sur les propriétés thermophysiques et thermomécaniques des matériaux opposés au plasma dans les réacteurs à fusion. Les données évaluées seront entrées dans la base de données ALADDIN sur les propriétés des matériaux et diffusées auprès des utilisateurs, et tout particulièrement les concepteurs de réacteurs à fusion.

Conception et évaluation de systèmes de récupération de la chaleur pour le réacteur d'essai à haute température

Etablir des critères de conception et définir les besoins en matière de développement de systèmes de récupération de la chaleur présentant un intérêt international et évaluer la sûreté et la technologie de ces systèmes en vue d'une éventuelle démonstration sur le réacteur japonais d'essai à haute température.

Evaluation, sur le plan de la sûreté, de l'environnement et de la non-prolifération, du fractionnement et de la transmutation des actinides et des produits de fission

Promouvoir l'échange d'informations sur les résultats obtenus dans ce domaine par différents pays afin de préciser les objectifs des activités de fractionnement et de transmutation et d'élargir la base scientifique existant sur ce sujet en vue d'un examen de la contribution potentielle du fractionnement et de la transmutation au renforcement de la sûreté du cycle du combustible. Les résultats de ce programme permettront également aux Etats Membres de définir les orientations des travaux de recherche-développement nécessaires dans ce domaine.

Automatisation de l'élevage en masse de mouches tsé-tsé pour les programmes faisant appel à la technique de l'insecte stérile

Mettre au point des techniques automatisées permettant de réduire la main-d'œuvre nécessaire à l'élevage en masse. Ce programme a été recommandé sur la base d'une analyse économique de l'élevage en masse de la mouche tsé-tsé qui a indiqué que les coûts de main-d'œuvre et les dépenses apparentées représentaient plus de 50% du coût total.

Méthodes normalisées de vérification de la dose absorbée dans les fruits frais, les fruits secs et les fruits à coque irradiés et commercialisés

Ce PRC vise à mettre au point des méthodes normalisées de vérification de la dose absorbée nécessaire à la désinfection de fruits secs et de fruits à coque et au traitement quarantenaire de fruits frais par irradiation, dans leurs emballages commerciaux respectifs. Il évaluera l'efficacité d'une irradiation pilote ou semi-industrielle de fruits secs et de fruits à coque pour remplacer la fumigation par bromure de méthyle et constituer une mesure de santé publique visant à lutter contre les maladies d'origine alimentaire (cysticercose/téniase et vibriose) en Amérique latine et dans les Caraïbes.

MARS 1994

Colloque de l'AIEA sur les garanties internationales, **Vienne (Autriche)** (14-18 mars)

AOÛT 1994

Séminaire (interrégional) sur les techniques isotopiques appliquées à l'hydrologie des régions arides et semi-arides, **Vienne (Autriche)** (25-26 août)

Séminaire interrégional sur la dosimétrie en radiothérapie: doses de rayonnements en radiothérapie, de la prescription au traitement, **Brésil** (27-30 août)

15^{ème} Conférence internationale sur la physique des plasmas et la recherche concernant la fusion nucléaire contrôlée, **Madrid (Espagne)** (26 septembre-1er octobre)

2^{ème} Séminaire FAO/AIEA pour l'Afrique sur la trypanosomiase animale: lutte contre les vecteurs et la maladie au moyen de techniques nucléaires, **Ouganda** (à confirmer)

OCTOBRE 1994

Séminaire sur les pratiques et les problèmes de gestion des déchets radioactifs dans les pays en développement, **Beijing (Chine)** (10-14 octobre)

Colloque international sur le stockage du combustible irradié: aspects relatifs à la sûreté, à l'ingénierie et à l'environnement, **Vienne (Autriche)** (10-14 octobre)

Colloque FAO/AIEA sur les méthodes nucléaires et apparentées d'étude des relations sol/plante dans le contexte d'une agriculture durable et de la protection de l'environnement, **Vienne (Autriche)** (17-21 octobre)

NOVEMBRE 1994

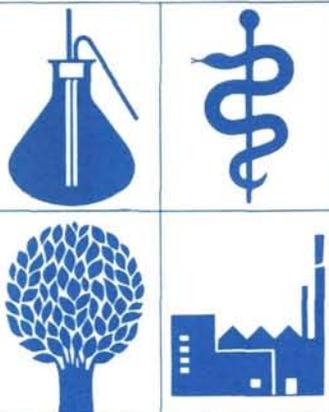
Conférence de révision de la Convention de Vienne relative à la responsabilité civile en matière de dommages nucléaires, **Vienne (Autriche)** (à confirmer)

Conférence internationale sur les rayonnements, la santé et la société: comprendre les risques radiologiques (à confirmer)

AUTRE REUNION

Conférence générale de l'AIEA, trente-huitième session ordinaire, **Vienne (Autriche)** (19-23 septembre 1994)

La liste ci-dessus est sélective et provisoire. Pour tous renseignements complémentaires s'adresser à la Section des services de séances de l'AIEA, au Siège de l'Organisation à Vienne ou se reporter à la publication trimestrielle de l'AIEA intitulée **Meetings on Atomic Energy** (pour passer commande, voir la rubrique *Nouvelles publications de l'AIEA*). Des précisions sur les programmes de recherche coordonnée peuvent être obtenues auprès de la Section de l'administration des contrats de recherche, au Siège de l'AIEA. Les programmes visent à faciliter la coopération mondiale dans divers domaines scientifiques et techniques, concernant aussi bien les applications médicales, agronomiques et industrielles des rayonnements que la technologie et la sûreté du secteur nucléo-électrique.



AIEA  **AIEA**
BULLETIN **ETATS MEMBRES**

Publication trimestrielle de la Division de l'information de l'Agence internationale de l'énergie atomique, B.P. 100, A-1400 Vienne (Autriche)

Tel.: (43-1) 2360-1270

Télécopie: (43-1) 234564

DIRECTEUR GENERAL: M. Hans Blix

DIRECTEURS GENERAUX ADJOINTS:

M. David Waller, M. Bruno Pellaud,

M. Boris Semenov, M. Sueo Machi,

M. Jihui Qian

DIRECTEUR, DIVISION DE L'INFORMATION:

M. David Kyd

REDACTEUR EN CHEF: M. Lothar H. Wedekind

SECRETAIRES DE REDACTION:

M. Rodolfo Quevenco, Mme Juanita Pérez,

Mme Brenda Blann

MISE EN PAGE/CONCEPTION:

Mme Hannelore Wilczek

RUBRIQUE ACTUALITES:

Mme S. Dallalah, Mme L. Diebold,

Mme A.B. de Reynaud, Mme R. Spiegelberg

PRODUCTION:

M. G. Dreger, M. R. Kelleher,

Mme I. Emge, Mme H. Bacher,

Mme A. Primes, Mme M. Swoboda,

M. W. Kreutzer, M. G. Demal, M. A. Adler,

M. R. Luttenfeldner, M. F. Prochaska,

M. P. Patak, M. L. Nimetzki

SERVICES LINGUISTIQUES:

M. J. Rivals, Mme E. Fritz

EDITION FRANÇAISE: M. S. Drège, traduction;

Mme V. Laugler-Yamashita,

contrôle rédactionnel

EDITION ESPAGNOLE: Equipo de Servicios de

Traductores e Intérpretes (ESTI), La Havane

(Cuba), traduction;

M. L. Herrero, contrôle rédactionnel

EDITION CHINOISE: Service de traduction de

la Société industrielle de l'énergie nucléaire

de Chine, Beijing, traduction, impression,

distribution

Le Bulletin de l'AIEA est distribué gratuitement à un nombre restreint de lecteurs qui s'intéressent aux activités de l'AIEA et aux utilisations pacifiques de l'énergie nucléaire. Pour bénéficier de ce service, écrire à la rédaction du Bulletin. Des extraits des textes contenus dans le Bulletin de l'AIEA peuvent être utilisés librement sous réserve d'en mentionner la source. Toutefois, un article dont l'auteur n'est pas membre du personnel de l'AIEA ne peut être reproduit qu'avec la permission de l'auteur ou de l'organisme dont il émane, sauf s'il est destiné à servir de document de travail.

Les opinions exprimées par les auteurs des articles ou dans les publicités publiées dans le Bulletin de l'AIEA ne correspondent pas forcément à celles de l'Agence internationale de l'énergie atomique et n'engagent donc que les signataires ou les annonceurs.

Publicité

Les annonceurs sont priés d'adresser leur correspondance à la Division des publications de l'AIEA, Unité de la vente des publications et de la publicité, B.P. 100, A-1400 Vienne (Autriche).

1957

Afghanistan

Afrique du Sud

Albanie

Allemagne

Argentine

Australie

Autriche

Bélarus

Brésil

Bulgarie

Canada

Corée, République de

Cuba

Danemark

Egypte

El Salvador

Espagne

Etats-Unis d'Amérique

Ethiopie

Fédération russe

France

Grèce

Guatemala

Haiti

Hongrie

Inde

Indonésie

Islande

Israël

Italie

Japon

Maroc

Monaco

Myanmar

Norvège

Nouvelle-Zélande

Pakistan

Paraguay

Pays-Bas

Pérou

Pologne

Portugal

République Dominicaine

Roumanie

Royaume-Uni

de Grande-Bretagne

et d'Irlande du Nord

Saint-Siège

Sri Lanka

Suède

Suisse

Thaïlande

Tunisie

Turquie

Ukraine

Venezuela

Viet Nam

Yougoslavie

1958

Belgique

Equateur

Finlande

Iran, Rép. islamique d'

Kampuchea démocratique

Luxembourg

Mexique

Philippines

Soudan

1959

Iraq

1960

Chili

Colombie

Ghana

Sénégal

1961

Liban

Mali

Zaire

1962

Arabie Saoudite

Libéria

1963

Algérie

Bolivie

Côte d'Ivoire

Jamahiriya Arabe Libyenne

République Arabe Syrienne

Uruguay

1964

Cameroun

Gabon

Koweït

Nigeria

1965

Chypre

Costa Rica

Jamaïque

Kenya

Madagascar

1966

Jordanie

Panama

1967

Ouganda

Sierra Leone

Singapour

1968

Liechtenstein

1969

Malaisie

Niger

Zambie

1970

Irlande

1972

Bangladesh

1973

Mongolie

1974

République populaire

démocratique de Corée

Maurice

1976

Emirats arabes unis

Qatar

République-Unie de Tanzanie

1977

Nicaragua

1983

Namibie

1984

Chine

1986

Zimbabwe

1991

Lettonie

Lituanie

Yémen, République du

1992

Croatie

Estonie

Ouzbékistan

Slovénie

1993

Arménie

République tchèque

Kazakhstan

Iles Marshall

République slovaque

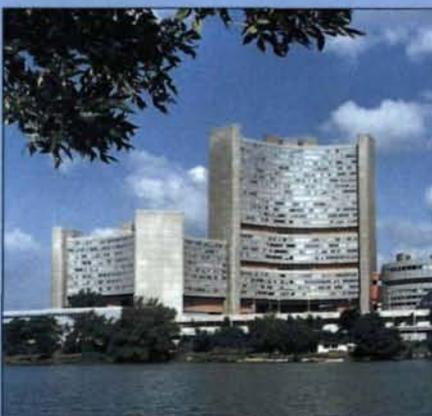
l'ex-République yougoslave

de Macédoine

Dix-huit ratifications étaient nécessaires pour l'entrée en vigueur du Statut de l'AIEA. Au 29 juillet 1957, les Etats figurant en caractères gras avaient ratifié le Statut.

L'année représente l'année de l'admission de l'Etat comme membre de l'AIEA. Les Etats ne figurent pas nécessairement sous le nom qu'ils avaient à l'époque.

L'admission des Etats dont le nom apparaît en italique a été approuvée par la Conférence générale mais ne prendra effet que lorsque les instruments juridiques nécessaires auront été déposés.



L'Agence internationale de l'énergie atomique, qui est née le 29 juillet 1957, est une organisation intergouvernementale indépendante faisant partie du système des Nations Unies. Elle a son siège à Vienne (Autriche) et compte plus d'une centaine d'Etats Membres qui coopèrent pour atteindre les principaux objectifs du Statut de l'AIEA: hâter et accroître la contribution de l'énergie atomique à la paix, la santé et la prospérité dans le monde entier et s'assurer, dans la mesure de ses moyens, que l'aide fournie par elle-même ou à sa demande ou sous sa direction ou sous son contrôle n'est pas utilisée de manière à servir à des fins militaires.

Siège de l'AIEA, au Centre international de Vienne.

Until now, one of the biggest problems with reading personal exposure doses has been the size of the monitoring equipment. Which is precisely why we're introducing the Electronic Pocket Dosimeter (EPD) "MY DOSE mini™" PDM-Series.

These high-performance

dosimeters combine an easy-to-read digital display with a wide measuring range suiting a wide range of needs.

But the big news is how very small and lightweight they've become. Able to fit into any pocket and weighing just 50~90 grams,

the Aloka EPDs can go anywhere you go. Which may prove to be quite a sizable improvement, indeed.

SCIENCE AND HUMANITY

ALOKA

ALOKA CO., LTD.
6-22-1 Muro, Mitaka-shi, Tokyo 181, Japan
Telephone: (0422) 45-5111
Facsimile: (0422) 45-4058
Telex: 02822-344

To: 3rd Export Section
Overseas Marketing Dept.
Attn: N. Odaka

Model	Energy	Range	Application
PDM-101	60 keV ~	0.01 ~ 99.99 μ Sv	High sensitivity, photon
PDM-102	40 keV ~	1 ~ 9.999 μ Sv	General use, photon
PDM-173	40 keV ~	0.01 ~ 99.99 mSv	General use, photon
PDM-107	20 keV ~	1 ~ 9.999 μ Sv	Low energy, photon
PDM-303	thermal ~ fast	0.01 ~ 99.99 mSv	Neutron
ADM-102	40 keV ~	0.001 ~ 99.99 mSv	With vibration & sound alarm, photon



Safety, convenience and a variety of styles to choose from.



PDM-107



PDM-102



PDM-173



PDM-101



PDM-303



ADM-102